

**IDENTIFIKASI POTENSI LIKUIFAKSI MENGGUNAKAN METODE  
*GLOBAL GEOSPATIAL MODEL* DI KECAMATAN TAMBAK  
KABUPATEN BANYUMAS**

**TUGAS AKHIR SKRIPSI**

Diajukan kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Negeri Yogyakarta  
untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains



Oleh:

Asaha Sukma Savitri

NIM 15306141025

**PROGRAM STUDI FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA  
2019**

## **LEMBAR PERSETUJUAN**

Tugas Akhir Skripsi dengan Judul

### **IDENTIFIKASI POTENSI LIKUIFAKSI MENGGUNAKAN METODE GLOBAL GEOSPATIAL MODEL DI KECAMATAN TAMBAK KABUPATEN BANYUMAS**

Disusun oleh:

Asaha Sukma Savitri  
NIM 15306141025

telah memenuhi syarat dan disetujui oleh Dosen Pembimbing untuk dilaksanakan

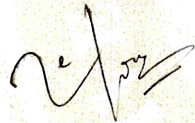
Ujian Akhir Tugas Skripsi bagi yang bersangkutan.

Yogyakarta, September 2019

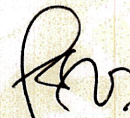
Menyetujui,

Pembimbing I

Pembimbing II

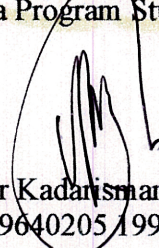


Laila Katriani, S.Si., M.Si.  
NIP 19850415 201212 2 001



Nugroho Budi Wibowo, M.Si.  
NIP 19840223 200801 1 011

Mengetahui,  
Ketua Program Studi Fisika



Nur Kadarisman, M.Si.  
NIP 19640205 199101 1 001



## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir Skripsi

### IDENTIFIKASI POTENSI LIKUIFAKSI MENGGUNAKAN METODE GLOBAL GEOSPATIAL MODEL DI KECAMATAN TAMBAK KABUPATEN BANYUMAS

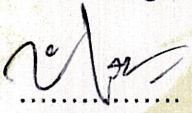
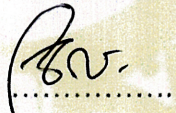
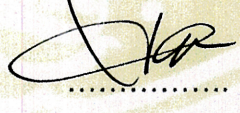
Disusun oleh:

Asaha Sukma Savitri  
NIM 15306141025

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Tugas Akhir Skripsi Program Studi  
Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri  
Yogyakarta

Pada tanggal 9 Oktober 2019

#### TIM PENGUJI

Nama/Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
Laila Katriani, S.Si., M.Si Ketua Penguji/Pembimbing I		16-10-2019
Nugroho Budi Wibowo, M.Si Sekretaris/Pembimbing II		16-10-2019
Denny Darmawan, M. Sc Penguji Utama		15-10-2019

Yogyakarta, 17 Oktober 2019

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta

Dekan,



Prof. Dr. Ariswan, M. Si

NIP. 19590914 198803 1 003



## **SURAT PERNYATAAN**

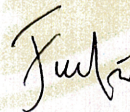
Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Asaha Sukma Savitri  
NIM : 15306141025  
Program Studi : Fisika  
Judul TAS : Identifikasi Potensi Likuifaksi di Kecamatan Tambak  
Kabupaten Banyumas Berdasarkan Pengukuran  
Mikrotremor

menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim.

Yogyakarta, 23 September 2019

Yang menyatakan,



Asaha Sukma Savitri  
NIM. 15306141025



## **MOTTO**

“Maka sesungguhnya dibalik kesulitan ada kemudahan...”

(QS. Al-Insyirah: 5)

“Saya tidak bisa merubah arah angin, tapi saya bisa merubah arah hidup saya

Memulai dengan penuh keyakinan

Menjalankan dengan penuh keikhlasan

Menyelesaikan dengan penuh kebahagiaan”

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

Dengan izin Allah SWT saya persembahkan karya ini untuk:

1. Orang tua saya terutama Almh. Ibu yang telah memberikan yang terbaik semasa hidupnya dan menjadi motivator terbesar dalam hidup saya.
2. Kakak dan adik saya yang telah memberikan dukungan dan semangat
3. Semua orang-orang di sekitar yang saya sayangi.



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas berkat rahmat dan karunia-Nya, Tugas Akhir Skripsi dalam rangka untuk memenuhi sebagai persyaratan untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains dengan judul “Identifikasi Potensi Likuifaksi Menggunakan Metode *Global Geospatial Model* di Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas” dapat disusun sesuai dengan harapan. Tugas Akhir Skripsi ini dapat diselesaikan tidak lepas dari bantuan dan kerjasama dengan pihak lain. Berkenaan dengan hal tersebut, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada yang terhormat:

1. Bapak Dr. Ariswan, selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam yang memberikan persetujuan pelaksanaan Tugas Akhir Skripsi.
2. Bapak Nugroho Budi Wibowo, M.Si., dan Ibu Laila Katriani, M.Si., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir Skripsi yang telah memberikan arahan, masukan, serta semangat selama penyusunan Tugas Akhir Skripsi ini.
3. Bapak Drs. Yusman Wiyatmo, M.Si., dan Bapak Drs. Nur Kadarisman, M.Si., selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika dan Ketua Program Studi Fisika beserta dosen dan staf yang telah memberikan bantuan dan fasilitas selama proses penyusunan pra proposal sampai dengan selesainya Tugas Akhir Skripsi ini.
4. Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Yogyakarta yang telah memberikan bantuan dan memperlancar pengambilan data untuk Tugas Akhir Skripsi ini.

5. Teman-teman Yashinta, Naja, Gian, Fian, Nunu (Nurul), dan Faisal yang telah membantu, menemani, dan memberikan semangat dalam pengambilan data untuk Tugas Akhir Skripsi ini.
6. Teman-teman Fisika B 2015 yang telah bersama-sama menjalankan perkuliahan di Program Studi Fisika selama empat tahun.
7. Semua pihak, secara langsung maupun tidak langsung, yang tidak dapat disebutkan di sini atas bantuan dan perhatiannya selama penyusunan Tugas Akhir Skripsi ini.

Akhirnya, semogag segala bantuan yang telah diberikan semua pihak di atas menjadi amalan yang bermanfaat dan mendapatkan balasan dari Allah SWt dan Tugas Akhir Skripsi ini menjadi informasi bermanfaat bagi pembaca atau pihak lain yang membutuhkannya.

Yogyakarta, 23 September 2019  
Penulis,

Asaha Sukma Savitri  
NIM 15306141025



# **IDENTIFIKASI POTENSI LIKUIFAKSI MENGGUNAKAN METODE GLOBAL GEOSPATIAL MODEL DI KECAMATAN TAMBAK KABUPATEN BANYUMAS**

Oleh:

Asaha Sukma Savitri  
15306141025

## **ABSTRAK**

Telah dilakukan penelitian tentang potensi likuifaksi menggunakan metode *Global Geospatial Model* di Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai percepatan getaran tanah maksimum (PGA), kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 m ( $V_{s30}$ ), *normalized distance* (ND) dan mengetahui potensi likuifaksi berdasarkan metode *Global Geospatial Model* di Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas.

Penelitian ini dilakukan dengan metode *Global Geospatial Model*. Parameter yang digunakan dalam metode *Global Geospatial Model* adalah PGA,  $V_{s30}$ , *topography index* (TI), dan ND. PGA dan  $V_{s30}$  diperoleh dari analisis parameter yang dihasilkan oleh pengukuran mikrotremor. Nilai TI diperoleh dari NERC *Environmental Information Data Centre*, sedangkan nilai ND diperoleh dari analisis jarak pantai dan jarak gunung yang diperoleh dari *Google Earth*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai PGA di Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas berkisar 14,21 – 79,72 cm/s<sup>2</sup>, nilai  $V_{s30}$  berkisar 109,24 – 556,73 m/s, nilai TI berkisar 2,20 – 12,00, dan nilai ND berkisar 0,13 – 0,35. Potensi likuifaksi tinggi terjadi di bagian selatan Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas dengan nilai probabilitas (P) berkisar 0,95 – 1.

Kata Kunci: *Global Geospatial Model*, likuifaksi, mikrotremor, Tambak.

# **IDENTIFICATION OF LIQUEFACTION POTENTIAL USING GLOBAL GEOSPATIAL MODEL METHOD IN TAMBAK SUBDISTRICT BANYUMAS REGENCY**

By:

Asaha Sukma Savitri  
15306141025

## **ABSTRACT**

A research has been conducted on the liquefaction potential using Global Geospatial Model method in Tambak Subdistrict, Banyumas Regency. The research was aimed to determine the value of peak ground acceleration (PGA), speed of shear waves at depth of 30 m ( $V_{s30}$ ), normalized distance (ND) and to determine the potential of liquefaction based on the Global Geospatial Model method in Tambak Subdistrict, Banyumas Regency.

This research was done using Global Geospatial Model method. The parameters used by the Global Geospatial Model are PGA,  $V_{s30}$ , topography index (TI), and ND. PGA and  $V_{s30}$  were obtained from parameter analysis generated by microtremor measurement. The IT values were obtained from NERC Environmental Information Data Centre, while the ND values were analyzed from coast distances and mountain distances obtained from Google Earth.

The results showed that PGA value in Tambak Subdistrict of Banyumas Regency ranged from 14.21 - 79.72 cm/s<sup>2</sup>,  $V_{s30}$  value ranged from 109.24 - 556.73 m / s, IT value ranged from 2.20 - 12.00, and ND value ranged from 0.13 - 0.35. The high potential liquefaction occurs in the southern part of Tambak Subdistrict of Banyumas Regency with probability value ranging from 0.95 – 0.99.

Keyword: Global Geospatial Model, liquefaction, microtremor, Tambak.



## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PERSETUJUAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>SURAT PERNYATAAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>MOTTO .....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>xvii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
A. Latar Belakang Masalah .....	1
B. Identifikasi Masalah .....	4
C. Batasan Masalah.....	5
D. Rumusan Masalah .....	5
E. Tujuan Penelitian.....	5
F. Manfaat Penelitian.....	6
<b>BAB II DASAR TEORI.....</b>	<b>7</b>
A. Likuifaksi.....	7
B. Metode <i>Global Geospatial Model</i> .....	9
C. Gelombang Seismik.....	10
D. Mikrotremor .....	14
E. <i>Horizontal to Vertical Spectra Ratio</i> (HVSr).....	15
F. Metode <i>Ellipticity Curve</i> .....	17
1. Kecepatan Gelombang Sekunder dan Kecepatan Gelombang Primer ...	18
2. Poisson <i>Ratio</i> ( $\sigma$ ).....	19

3. Densitas ( $\rho$ ) .....	19
G. Percepatan Getaran Tanah Maksimum (PGA) .....	20
H. Kecepatan Gelombang Geser ( $V_{s30}$ ).....	24
I. Indeks Topografi (TI) .....	25
J. Geologi Daerah Penelitian.....	26
K. Kerangka Berpikir .....	27
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>30</b>
A. Waktu dan Tempat Penelitian .....	30
B. Instrumen Penelitian.....	30
C. Teknik Pengambilan Data .....	33
1. Survei .....	33
2. Pengambilan Data .....	34
D. Teknik Analisis Data .....	37
1. Menganalisis Sinyal Mikrotremor.....	37
2. Menganalisis percepatan getaran tanah maksimum (PGA) .....	38
3. Menganalisis Kurva H/V untuk menentukan kecepatan gelombang geser kedalaman 30 meter ( $V_{s30}$ ) .....	39
4. Menganalisis Indeks Topografi (TI) .....	40
5. Menganalisis <i>Normalized Distance</i> (ND) .....	40
6. Menganalisis Probabilitas ( $P$ ) .....	41
E. Diagram Alir Penelitian.....	41
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>43</b>
A. Nilai Percepatan Getaran Tanah Maksimum (PGA) .....	44
B. Nilai Kecepatan Gelombang Geser Pada Kedalaman 30 meter ( $V_{s30}$ ).....	47
C. Indeks Topografi (TI) .....	50
D. Nilai <i>Normalized Distance</i> (ND).....	52
E. Nilai Probabilitas ( $P$ ).....	53
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>55</b>
A. Kesimpulan.....	55
B. Saran .....	55

<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>56</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>61</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Klasifikasi <i>site</i> berdasarkan nilai $V_s$ hasil penyelidikan tanah dan laboratorium .....	18
Tabel 2. Data kecepatan gelombang primer pada beberapa medium .....	18
Tabel 3. Nilai Poisson <i>ratio</i> batuan sedimen .....	19
Tabel 4. Nilai variasi densitas batuan .....	20
Tabel 5. Intensitas gempabumi skala MMI.....	22
Tabel 6. Klasifikasi tanah konversi Kanai & Tanaka dengan Omote-Nakajima .	24
Tabel 7. Klasifikasi jenis batuan berdasarkan <i>Uniform Building Code</i> .....	25
Tabel 8. Standar operasional pengukuran mikrotremor.....	36

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Peta daerah penelitian. ....	2
Gambar 2. Informasi gempabumi Kecamatan Tambak .....	3
Gambar 3. Gelombang Primer .....	12
Gambar 4. Gelombang Sekunder .....	12
Gambar 5. Gelombang Love .....	13
Gambar 6. Gelombang Rayleigh.....	14
Gambar 7. Perangkat Keras Pengukuran Mikrotremor .....	32
Gambar 8. Desain survei titik pengukuran di Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas .....	34
Gambar 9. Desain survei pengambilan data di Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas .....	35
Gambar 10. Analisis sinyal mikrotremor menggunakan <i>software</i> Geopsy .....	37
Gambar 11. Kurva H/V hasil analisis <i>software</i> Matlab2017b menggunakan program OpenHVSRR. ....	38
Gambar 12. <i>Ground profile</i> kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) dan kedalaman ( $h$ ).....	40
Gambar 13. Mengukur jarak pantai dan gunung dari titik penelitian menggunakan Google Earth.....	41
Gambar 14. Diagram Alir Penelitian .....	42
Gambar 15. Mikrozonasi nilai periode dominan Kecamatan Tambak .....	44
Gambar 16. Grafik nilai PGA di setiap titik penelitian dari 6 kejadian gempabumi. ....	45
Gambar 17. Mikrozonasi PGA di Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas ....	46
Gambar 18. Kurva dari metode <i>Ellipticity Curve</i> pada titik H2 .....	48
Gambar 19. <i>Ground Profile</i> $V_s$ dengan variasi lapisan .....	49
Gambar 20. Mikrozonasi nilai $V_{s30}$ di Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas. ....	50
Gambar 21. Mikrozonasi nilai TI di Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas .....	51



Gambar 22. Mikrozonasi nilai ND di Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas. ....	52
Gambar 23. Mikrozonasi nilai probabilitas di Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas. ....	53
Gambar 24. Daerah yang terdampak potensi likuifaksi .....	54

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Hasil Penelitian .....	61
Lampiran 2. Uji Kriteria <i>Reliable</i> dan <i>Clear Peak SESAME European Research Project</i> .....	62
Lampiran 3. Kurva H/V pada 39 Titik Pengamatan .....	64
Lampiran 4. Data <i>Event</i> Gempabumi.....	77
Lampiran 5. Perhitungan Jarak Episenter dan Jarak Hiposenter .....	78
Lampiran 6. Analisis Percepatan Getaran Tanah Maksimum (PGA).....	81
Lampiran 7. Analisis Nilai Kecepatan Gelombang Geser ( <i>V<sub>s</sub></i> ) dengan Dinver .....	83
Lampiran 8. Analisis Kecepatan Gelombang Geser Kedalaman 30 m ( <i>V<sub>s30</sub></i> ).....	89
Lampiran 9. Data indeks topografi (TI).....	91
Lampiran 10. Analisis <i>Normalized Distance</i> (ND).....	93
Lampiran 11. Pengolahan Data.....	95
Lampiran 12. Dokumentasi Penelitian.....	112

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

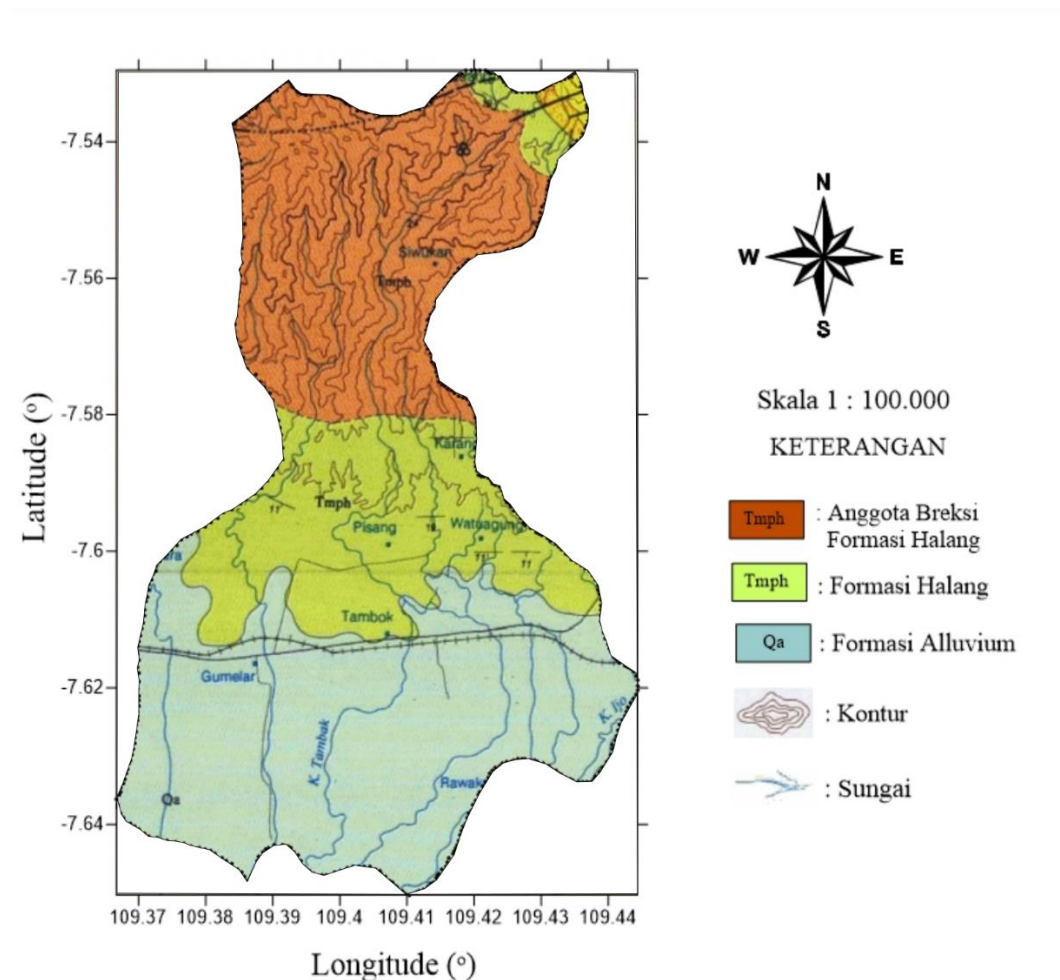
#### **A. Latar Belakang Masalah**

Likuifaksi merupakan fenomena hilangnya kekuatan lapisan tanah akibat getaran gempabumi pada tanah non-kohefif (lanau sampai pasir) yang jenuh air. Selama gempabumi, tanah lebih berlaku sebagai cairan daripada sebagai padatan, sehingga terjadilah likuifaksi yang membahayakan bangunan di atasnya. Salah satu jenis gempa yang sering memicu terjadinya likuifaksi adalah gempa tektonik. Gempa tektonik merupakan gempabumi yang terjadi akibat patahan lempeng tektonik (Ikhsan, 2011).

Peristiwa likuifaksi yang terjadi di Kelurahan Patobo Palu Sulawesi Tengah diakibatkan oleh gempabumi Palu 28 September 2018 dengan magnitudo 7,7 dan kedalaman 10 km (BMKG,2018). Gempabumi tersebut terjadi karena aktivitas sesar darat yaitu Sesar Palu Koro. Sesar Palu Koro merupakan sesar yang memanjang kurang lebih 240 km dari utara (Kota Palu) ke selatan (Malili) hingga Teluk Bone (Pakpahan *et al*, 2015). Kondisi geologi Kota Palu yang didominasi oleh material Alluvium dengan umur kuarter dan kedalaman muka air yang dangkal menjadi faktor terjadinya likuifaksi di Kelurahan Patobo (Widyaningrum, 2012). Secara umum di Indonesia wilayah yang memiliki karakteristik seperti Kota Palu banyak dan salah satunya adalah Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas.

Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas memiliki formasi geologi berupa dataran Alluvium dengan umur kuarter (Gambar 1). Selain itu, kedalaman muka air tanah bagian selatan Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas cukup dangkal

yaitu berkisar antara 0,6 – 3,1 m. Ditambah lagi, Kecamatan Tambak pernah mengalami gempabumi yang diakibatkan oleh aktivitas sesar lokal. Gempabumi tersebut terjadi pada tanggal 26 November 2018 dengan episenter di  $7,64^{\circ}\text{LS}$   $109,39^{\circ}\text{BT}$  dan magnitudo 2,7 yang ditunjukkan Gambar 2 (BMKG, 2018). Apabila gempa tersebut terjadi kembali dengan magnitudo lebih besar maka dimungkinkan bagian selatan Kecamatan Tambak berpotensi terjadi likuifaksi. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai potensi likuifaksi di Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas.



Gambar 1. Peta daerah penelitian (Asikin *et al*, 1992).

Beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi potensi likuifaksi di antaranya *Standard Penetration Test (SPT)*, *Ground Shear Strain (GSS)*, dan *Global Geospatial Model* yang merupakan metode *rapid assessment* untuk mengidentifikasi potensi likuifaksi menggunakan nilai probabilitas dari beberapa parameter. Kelebihan *Global Geospatial Model* dibandingkan dengan metode lain yaitu parameter yang digunakan lebih banyak dibandingkan dengan metode lain akan tetapi biaya yang digunakan lebih murah. Parameter-parameter yang digunakan dalam metode *Global Geospatial Model* yaitu *Peak Ground Acceleration (PGA)*, kecepatan gelombang geser ( $V_{s30}$ ), *Topographic Index (TI)*, dan *Normalized Distance (ND)*. Informasi terkait parameter PGA,  $V_{s30}$ , dan ND belum tersedia untuk Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas. PGA dan  $V_{s30}$  dapat diperoleh dari analisis parameter yang dihasilkan oleh pengukuran mikrotremor, sedangkan nilai ND dianalisis dari jarak pantai dan jarak gunung yang diperoleh melalui *Google Earth*.



Gambar 2. Informasi gempabumi Kecamatan Tambak (BMKG, 2018)



Penelitian-penelitian yang berkaitan dengan potensi likuifaksi di antaranya seperti yang dilakukan oleh Yulistiani (2017) tentang potensi likuifaksi berdasarkan nilai *Ground Shear Strain* (GSS) di Kecamatan Prambanan menggunakan data mikrotremor, Shetty (2012) tentang model bahaya likuifaksi di Teluk Tokyo, dan Muntohar (2010) tentang mikrozonasi potensi likuifaksi dan penurunan tanah akibat gempabumi Yogyakarta. Penelitian potensi likuifaksi di Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas menggunakan metode *Global Geospatial Model* belum pernah dilakukan. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian mengenai potensi likuifaksi di Kecamatan Tambak yang diharapkan dapat bermanfaat untuk mengurangi resiko bencana seperti kerugian ekonomi, korban jiwa dan kerusakan struktur dan infrastruktur yang besar.

## **B. Identifikasi Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka dapat diidentifikasi beberapa masalah sebagai berikut:

1. Secara geologi Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas memiliki potensi mengalami likuifaksi apabila terjadi gempabumi dengan magnitudo besar.
2. Belum ada informasi nilai PGA,  $V_{s30}$  dan ND di Kecamatan Tambak Banyumas
3. Belum ada penelitian mengenai potensi likuifaksi di Kecamatan Tambak Banyumas menggunakan metode *Global Geospatial Model*.

### C. Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi sebagai berikut:

1. Pengambilan data penelitian di Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas melingkupi koordinat  $7^{\circ}32'11,004''$  -  $7^{\circ}38'47,628''$  LS dan  $109^{\circ}22'17,628''$  -  $109^{\circ}25'18,504''$  BT.
2. Data PGA dan  $V_{s30}$  didekati dengan parameter hasil pengukuran mikrotremor yang mengacu pada *SESAME European Research Project* (2004).
3. Sinyal mikrotremor diukur menggunakan *Digital Portable Seismograph* merek Taide tipe TDL-303S.
4. Data TI diperoleh dari NERC *Environmental Information Data Centre* yang disesuaikan dengan daerah penelitian.

### D. Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah, dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Berapa nilai PGA,  $V_{s30}$  dan ND di Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas?
2. Bagaimana potensi likuifaksi berdasarkan metode *Global Geospatial Model* di Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas?

### E. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Menentukan nilai PGA,  $V_{s30}$  dan ND di Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas.

2. Mengetahui potensi likuifaksi berdasarkan nilai metode *Global Geospatial Model* di Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas.

#### **F. Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Dapat digunakan sebagai sumber kajian untuk melakukan penelitian lebih lanjut di Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas.
2. Dapat digunakan sebagai data mitigasi dan informasi tentang potensi bencana likuifaksi di Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas.

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **A. Likuifaksi**

Likuifaksi adalah fenomena hilangnya kekuatan tanah akibat getaran gempabumi. Likuifaksi terjadi pada tanah yang berpasir lepas (tidak padat) dan jenuh air (Tohari *et al*, 2015) dikarenakan lapisan tanah pasir merupakan lapisan yang memiliki porositas baik, sehingga memungkinkan lapisan ini menyimpan dan mengalirkan air. Lapisan yang memiliki porositas yang baik memicu penyerapan air dalam lapisan yang menyebabkan lapisan tersebut jenuh air. Kondisi ini membuat tanah tidak lagi memiliki kestabilan sehingga tidak mampu menopang beban di atasnya (Chandra *et al*, 2017). Fenomena likuifaksi terjadi seiring terjadinya gempabumi. Secara visual peristiwa likuifaksi ini ditandai dengan munculnya lumpur pasir di permukaan tanah berupa semburan pasir, rembesan air melalui rekahan tanah, atau bisa juga dalam bentuk tenggelamnya struktur bangunan di atas permukaan, penurunan muka tanah dan perpindahan lateral (Putra, 2013).

Faktor yang mempengaruhi terjadinya likuifaksi yaitu (Prawirodikromo, 2012):

##### **1. Intensitas Gempa**

Peristiwa likuifaksi akan dipengaruhi oleh tipe getaran baik getaran yang harmonik atau getaran non harmonik seperti getaran akibat gempabumi. Kemungkinan terjadinya likuifaksi juga dipengaruhi oleh percepatan tanah dan durasi gempa. Potensi likuifaksi akan semakin besar apabila percepatan tanah

akibat gempa semakin besar dan durasi getaran semakin lama. Percepatan tanah yang besar dan durasi yang lama berarti berasosiasi dengan gempa dengan magnitudo yang besar.

## 2. Jarak episenter

Berdasarkan hasil pengamatan lapangan lebih dari 100 tahun dan lebih dari 100 peristiwa likuifaksi menunjukkan bahwa likuifaksi tidak terjadi apabila jarak episenter lebih dari

$$R = 0,82 \times 10^{0,862(M-5)} \text{ km} \quad (1)$$

Apabila jarak episenter kurang dari persamaan (1) maka likuifaksi kemungkinan besar akan terjadi.

## 3. Kedalaman muka air tanah (*Groundwater Table*)

Peristiwa likuifaksi terjadi karena tegangan air pori yang besar. Oleh karena itu likuifaksi akan terjadi apabila tidak terdapat air tanah yang memungkinkan naiknya tegangan air pori tersebut. Berdasarkan pengalaman yang telah dicatat, likuifaksi akan terjadi apabila kedalaman air tanah kurang dari kira-kira 3 m. Likuifaksi tidak akan terjadi apabila kedalaman air tanah lebih dari 5 m.

## 4. Jenis tanah

Likuifaksi akan mudah terjadi pada *non-cohesive soil (non-plastic-soil)* atau tanah pasir lepas dengan butir-butir halus atau kecil ataupun sedikit tanah campuran dengan kandungan indeks plastisitas yang kecil. Kandungan *finer* yang relatif besar akan memperbaiki gradasi butiran dan akan meningkatkan kapasitas, sehingga akan menurunkan potensi likuifaksi. Jenis-jenis tanah yang memungkinkan untuk terjadi



likuifaksi adalah pasir jenuh air, berdiameter halus sampai agak kasar maupun tanah pasir lanauan terutama apabila sistem drainase tidak baik.

Potensi likuifaksi di suatu wilayah dapat diidentifikasi menggunakan beberapa metode di antaranya *Standard Penetration Test* (SPT), *Ground Shear Strain* (GSS), dan *Global Geospatial Model*. *Standard Penetration Test* (SPT) adalah salah satu jenis uji tanah untuk mengetahui daya dukung tanah dengan cara pengeboran. *Ground Shear Strain* (GSS) merupakan kemampuan suatu material lapisan tanah untuk merenggang atau bergeser saat terjadi gempa bumi. *Global Geospatial Model* adalah model potensi likuifaksi menggunakan nilai probabilitas.

## **B. Metode *Global Geospatial Model***

*Global Geospatial Model* digunakan untuk memprediksi fenomena likuifaksi berdasarkan nilai probabilitas. Fungsi empiris yang memberikan probabilitas dalam wilayah spasial menggunakan fungsi logistik sebagai berikut (Zhu *et al*, 2014):

$$P(X) = \frac{1}{1 + e^{-X}} \quad (2)$$

dengan  $X$  adalah fungsi yang bergantung pada PGA dari analisis pengukuran mikrotremor,  $V_{s30}$  dari analisis pengukuran mikrotremor, TI yang menunjukkan indeks kebasahan tanah, dan ND menunjukkan jarak pantai dan jarak gunung. Pendekatan ini dikembangkan untuk dapat memprediksi probabilitas likuifaksi yang digunakan dalam respon cepat dan estimasi kerugian (Zhu *et al*, 2014).

Zhu *et al* (2014) menghasilkan dua model menggunakan pendekatan ini yaitu tingkat wilayah dan tingkat global, dimana model global yang akan digunakan

dalam pemodelan likuifaksi penelitian ini. Kemungkinan likuifaksi akan terjadi dihitung menggunakan persamaan 2, dimana nilai  $X$  menurut Shetty (2012) adalah

$$X = 9,091390 + 1,512846 \ln(PGA) + 0,184749TI - 10,619602ND - 1,999176 \ln(Vs30) \quad (3)$$

dan

$$ND = \frac{Jarak\ Pantai}{Jarak\ Pantai + Jarak\ Gunung} \quad (4)$$

Menurut Zhu *et al* (2014 & 2017) nilai  $X$  dapat ditentukan dengan menggunakan beberapa persamaan yaitu

$$X = 24,10 + 2,067 \ln(PGA) + 0,355TI - 0,4784 \ln(Vs30) \quad (5)$$

$$X = 12,435 + 0,301 \ln(PGA) - 2,615 \ln(Vs30) 5,556 \times 10^{-4}precip - 0,0287(d_c)^{0.5} + 0,0666d_r - 0,0369d_r(d_c)^{0.5} \quad (6)$$

$$X = 25,45 + 2,467 \ln(PGA) - 0,323d_r - 0,4784 \ln(Vs30) \quad (7)$$

dimana  $P$  adalah probabilitas, PGA adalah nilai percepatan getaran tanah maksimum,  $TI$  adalah nilai indeks topografi,  $ND$  adalah jarak normalisasi,  $V_{s30}$  adalah kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 meter,  $d_r$  adalah jarak sungai,  $d_c$  adalah jarak pantai, dan  $precip$  adalah rata-rata curah hujan tahunan (mm).

### C. Gelombang Seismik

Gelombang seismik adalah gelombang yang menjalar di dalam atau di bawah permukaan bumi yang bersifat elastik. Perambatan gelombang seismik ini bergantung pada sifat elastisitas batuan yang dilaluinya. Gelombang seismik dapat

diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*) (Telford *et al.*, 1990).

#### 1. Gelombang Badan (*Body Wave*)

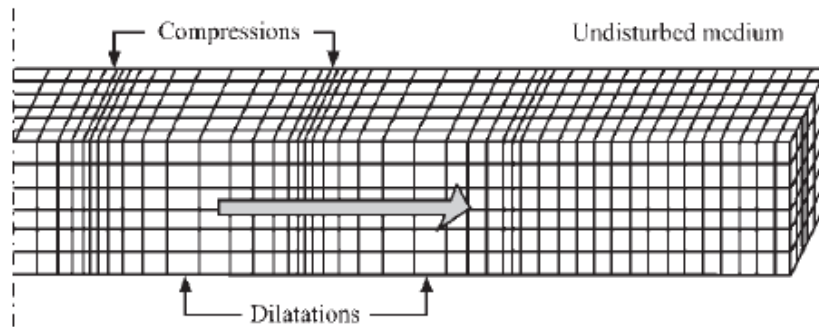
Gelombang badan adalah gelombang yang menjalar dalam medium elastik serta arah rambatannya ke seluruh bagian dalam bumi. Berdasarkan gerak partikel pada media dan arah penjalarannya gelombang badan dibagi menjadi dua yaitu:

##### a. Gelombang Primer (P)

Gelombang primer merupakan gelombang badan yang disebut sebagai gelombang kompresi atau gelombang longitudinal. Gelombang ini memiliki kecepatan penjalaran gelombang lebih cepat dibandingkan dengan gelombang sekunder. Arah simpangan gelombang P searah dengan arah perambatannya seperti ditunjukkan Gambar 3. Gelombang P dapat menjalar pada semua medium yaitu padat, cair, dan gas. Kecepatan gelombang P dapat dinyatakan menggunakan persamaan (8) (Kayal, 2008).

$$V_p = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad (8)$$

dengan  $V_p$  adalah kecepatan gelombang P (m/s),  $K$  adalah modulus Bulk (Pa),  $\mu$  adalah rigiditas atau modulus geser (N/m<sup>2</sup>),  $\rho$  adalah densitas batuan (kg/m<sup>3</sup>).



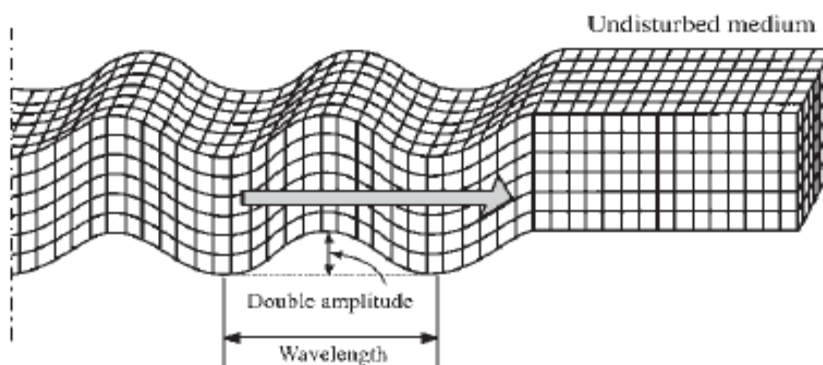
Gambar 3. Gelombang Primer (Elnashai dan Sarno, 2008)

b. Gelombang Sekunder (S)

Gelombang sekunder disebut juga gelombang *shear* atau gelombang transversal karena memiliki arah gerakan tegak lurus dengan arah rambatnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Gelombang ini hanya dapat merambat melalui medium padat karena medium cair dan gas tidak memiliki daya elastisitas untuk kembali ke bentuk semula. Kecepatan rambat gelombang S dapat dinyatakan menggunakan persamaan (9) (Kayal, 2008).

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (9)$$

dengan  $V_s$  adalah kecepatan gelombang S (m/s),  $\mu$  adalah rigiditas atau modulus geser ( $\text{N/m}^2$ ),  $\rho$  adalah densitas batuan ( $\text{kg/m}^3$ ).



Gambar 4. Gelombang Sekunder (Elnashai dan Sarno, 2008)

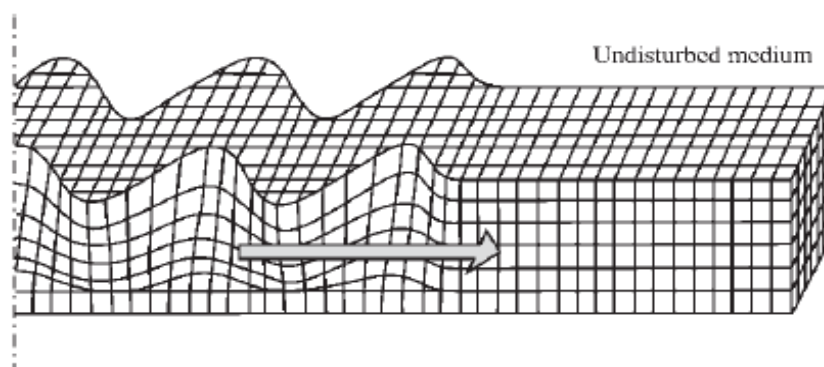
## 2. Gelombang Permukaan

Gelombang permukaan menjalar lebih lambat dibandingkan dengan gelombang badan, namun mengakibatkan kerusakan lebih besar. Hal ini dikarenakan gelombang permukaan membutuhkan waktu yang lebih lama untuk melewati permukaan bumi. Gelombang permukaan dibedakan menjadi dua, yaitu:

### a. Gelombang Love

Gelombang Love pertama kali diperkenalkan oleh matematikawan berkebangsaan Inggris bernama A.E.H Love pada tahun 1911. Gelombang Love terbentuk karena adanya interferensi konstruktif dari gelombang S yang arah gerakan partikelnya horizontal seperti Gambar 5. Hal inilah yang menyebabkan tanah mengalami pergeseran ke arah horizontal. Gelombang Love memiliki frekuensi dominan rendah dan kecepatan rambat gelombang tinggi. Gelombang Love memiliki kecepatan rambat gelombang ( $V_L$ ) lebih besar dari kecepatan gelombang S di permukaan bumi ( $V_{S1}$ ) dan lebih kecil dari kecepatan gelombang S di lapisan lebih dalam ( $V_{S2}$ ), sehingga gelombang Love hanya dapat merambat pada permukaan bumi. Besarnya kecepatan gelombang Love yaitu (Lowrie, 2007):

$$V_{S1} < V_L < V_{S2} \quad (10)$$



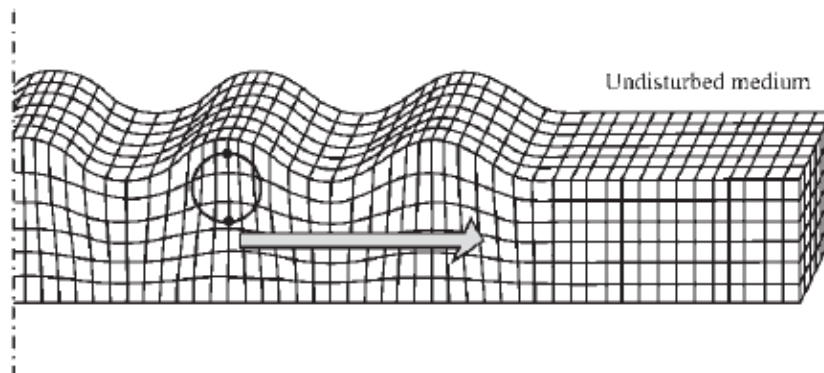
Gambar 5. Gelombang Love (Elnashai dan Sarno, 2008)



b. Gelombang Rayleigh

Gelombang Rayleigh merupakan gelombang permukaan hasil kombinasi gerakan gelombang P dan S yang gerakan partikelnya menyerupai elips dan tegak lurus terhadap permukaan dan arah penjalarannya (Susilawati, 2008). Ilustrasi gelombang Rayleigh ditunjukkan pada Gambar 6. Kecepatan gelombang Rayleigh bergantung pada konstanta elastik dan kecepatannya lebih kecil dari  $V_S$ . Persamaan kecepatan gelombang Rayleigh ditunjukkan pada persamaan (11)

$$V_R \approx 0.92V_S \quad (11)$$



Gambar 6. Gelombang Rayleigh (Elnashai dan Sarno, 2008)

#### D. Mikrotremor

Mikrotremor (*ambient vibration*) merupakan getaran tanah yang kecil dan terus menerus yang berasal dari dua sumber utama, yaitu alam dan aktivitas manusia (Kanai, 1983). Sinyal mikrotremor terdiri dari tiga komponen sinyal yaitu dua komponen sinyal horizontal (Timur-Barat dan Utara –Selatan) dan satu komponen sinyal vertikal.

Mikrotremor merupakan getaran yang memiliki amplitudo pergeseran sekitar  $0,1-1 \mu m$ . Berdasarkan periodenya mikrotremor dibedakan menjadi dua jenis, yaitu

mikrotremor periode pendek (kurang dari 1 detik) dimana keadaan ini terkait dengan struktur bawah permukaan yang dangkal dengan ketebalan beberapa puluh meter. Jenis kedua adalah mikrotremor dengan periode panjang (lebih dari 1 detik), keadaan ini terkait dengan struktur tanah yang lebih dalam, menunjukkan dasar dari batuan keras (Mirzaoglu *et al*, 2003).

#### **E. *Horizontal to Vertical Spectra Ratio (HVSr)***

HVSr merupakan metode yang digunakan untuk menghitung rasio spektrum komponen horizontal terhadap komponen vertikal dari sinyal mikrotremor. Hasil analisis HVSr adalah kurva H/V yang menunjukkan suatu puncak spektrum pada frekuensi dominan. Frekuensi dominan dan faktor amplifikasi dari gelombang yang terekam dalam tanah menunjukkan informasi lokasi (*site*) setempat atau menggambarkan karakteristik dinamis tanah (Nakamura, 1989).

Faktor amplifikasi dari gerakan komponen horizontal dan vertikal di permukaan tanah sedimen berdasarkan pada gerakan seismik di permukaan tanah yang bersentuhan langsung dengan batuan dasar di area cekungan dilambangkan dengan  $T_H$  dan  $T_V$ . *Site effect* ( $T_{site}$ ) ditentukan berdasarkan perbandingan faktor amplifikasi gerakan horizontal ( $T_H$ ) dan vertikal ( $T_V$ ) (Nakamura, 2000). Besarnya faktor amplifikasi horizontal  $T_H$  adalah

$$T_H = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \quad (12)$$

dengan  $S_{HS}$  adalah spektrum komponen horizontal di permukaan tanah,  $S_{HB}$  adalah spektrum dari komponen horizontal pada dasar lapisan tanah. Besarnya faktor amplifikasi  $T_V$  adalah:

$$T_V = \frac{S_{VS}}{S_{VB}} \quad (13)$$

dengan  $S_{VS}$  adalah spektrum mikrotremor komponen vertikal di permukaan tanah,  $S_{VB}$  adalah spektrum mikrotremor komponen vertikal di batuan dasar. Besarnya *site effect* ( $T_{site}$ ) adalah:

$$T_{site} = \frac{T_H}{T_V} = \frac{S_{HS}S_{VB}}{S_{HB}S_{VS}} \quad (14)$$

Sinyal mikrotremor tersusun dari beberapa jenis gelombang, tetapi yang utama adalah gelombang Rayleigh yang merambat pada lapisan sedimen di atas batuan dasar. Komponen vertikal mikrotremor tidak teramplifikasikan oleh sedimen di dataran aluvial. Pengaruh gelombang Rayleigh pada rekaman sinyal mikrotremor mempunyai nilai yang sama untuk komponen vertikal dan horizontal saat rentang frekuensi 0,2 Hz sampai 2 Hz, sehingga rasio spektrum antara komponen horizontal dan vertikal di batuan dasar mendekati satu (Nakamura, 2000):

$$\frac{S_{HB}}{S_{VB}} \approx 1 \quad (15)$$

dan apabila dibulatkan menjadi

$$\frac{S_{HB}}{S_{VB}} = 1 \quad (16)$$

Karena rasio spektrum antara komponen horizontal dan vertikal di batuan dasar mendekati nilai satu, maka gangguan yang terekam pada permukaan lapisan tanah akibat efek dari gelombang Rayleigh dapat dihilangkan, sehingga hanya ada pengaruh yang disebabkan oleh struktur geologi lokal atau *site effect* ( $T_{site}$ ) (Yulistiani, 2017). Oleh karena itu, persamaan (14) menjadi

$$T_{site} = \frac{T_H}{T_V} = \frac{S_{HS}}{S_{VS}} \quad (17)$$

sehingga

$$HVSR = T_{site} = \frac{\sqrt{[(S_{North-South})^2 + (S_{East-West})^2]}}{S_{VS}} \quad (18)$$

Persamaan (18) ini menjadi dasar perhitungan rasio spektrum mikrotremor komponen horizontal terhadap komponen vertikalnya atau *Horizontal to Vertical Spectra Ratio* (HVSR).

#### **F. Metode *Ellipticity Curve***

Metode *ellipticity curve* merupakan pemodelan inversi gelombang Rayleigh yang dilakukan untuk mengekstrak sifat-sifat fisis bawah permukaan yang tidak dapat ditentukan oleh metode HVSR. Inversi gelombang Rayleigh adalah suatu proses yang dilakukan untuk mendapatkan parameter-parameter elastis kurva dispersi (*ellipticity curve*) yang tidak diketahui sebelumnya. Metode *ellipticity curve* dipengaruhi oleh parameter model awal untuk menentukan model bawah permukaan di wilayah penelitian (Patimah, 2017). Parameter tersebut meliputi kecepatan gelombang S ( $V_s$ ), kecepatan gelombang P ( $V_p$ ), Poisson *ratio* ( $\sigma$ ), dan densitas batuan ( $\rho$ ). Metode ini digunakan untuk mendapatkan parameter kecepatan gelombang geser permukaan ( $V_s$ ) di titik pengukuran. Tingkat keakuratan data dapat diketahui dari nilai *error (misfit)*, semakin kecil nilai *error* maka profil kecepatan gelombang geser yang diperoleh semakin baik.

## 1. Kecepatan Gelombang Sekunder dan Kecepatan Gelombang Primer

Kecepatan gelombang sekunder dan kecepatan gelombang primer telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya yaitu sub bab gelombang seismik. Salah satu faktor yang mempengaruhi perbedaan kecepatan gelombang seismik adalah jenis batuan yang berada di bawah permukaan. Setiap batuan memiliki kekerasan dan elastisitas yang berbeda-beda, sehingga menyebabkan gelombang yang merambat di suatu lapisan batuan juga memiliki kecepatan yang berbeda-beda. Klasifikasi nilai  $V_s$  dan  $V_p$  ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Klasifikasi site berdasarkan nilai  $V_s$  hasil penyelidikan tanah dan laboratorium (Badan Standarisasi Nasional, 2012)

Klasifikasi Site	Kecepatan gelombang geser $V_s$ (m/s)
Batuan Keras	$V_s \geq 1500$
Batuan	$750 \leq V_s \leq 1500$
Tanah sangat padat dan Batuan Lunak	$350 < V_s \leq 750$
Tanah Sedang	$175 < V_s \leq 350$
Tanah Lunak	$V_s < 175$

Tabel 2. Data kecepatan gelombang primer pada beberapa medium (Burger, 1992)

Batuan	Variasi $V_p$ (m/s)
Tanah	250 – 600
Pasir	200 – 1000
Pasir tersaturasi	800 – 2200
Pasir dan kerikil	4921 – 6561
Lempung	1000 – 2500
Endapan lempung	3281 – 8201

## 2. Poisson Ratio ( $\sigma$ )

Poisson *ratio* adalah sifat elastisitas yang dimiliki batuan yang mengindikasikan tingkat rekahan (*fracturing*) pada batuan tersebut yang mana, nilai Poisson *ratio* akan lebih tinggi dari kondisi normal pada batuan yang terisi cairan (Manzella, 1990). Nilai Poisson *ratio* untuk material yang berbeda ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai Poisson *ratio* batuan sedimen (Ostrander, 1984)

Jenis Batuan	Poisson <i>Ratio</i>
Lempung Green River	0,22-0,33
Sedimen Laut Dangkal	0,45-0,50
Sedimen <i>Consolidated</i> :	
Tersaturasi Brine	0,20-0,30
Tersaturasi Gas	0,01-0,14
Batuan Pasir Sintetik :	
Tersaturasi Brine	0,41
Tersaturasi Gas	0,10
Batuan Pasir Ottawa :	
Tersaturasi Brine	0,41
Tersaturasi Gas	0,10

## 3. Densitas ( $\rho$ )

Densitas atau kerapatan batuan adalah besarnya kompresi yang dialami suatu batuan, umumnya semakin bertambah kedalaman lapisan semakin besar pula kompresi yang dialami, sehingga memiliki densitas yang lebih besar. Nilai variasi densitas setiap batuan ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai variasi densitas batuan (Telford *et al*, 1990)

Jenis Batuan	Batas (Mg/m <sup>3</sup> )	Jenis Batuan	Batas (Mg/m <sup>3</sup> )	Jenis Batuan	Batas (Mg/m <sup>3</sup> )
Batuan Sedimen		Batuan Metamorf		Batuan Beku	
<i>Alluvium</i>	1,96-2,00	<i>Schist</i>	2,39-2,90	<i>Riolit</i>	2,35-2,70
<i>Clay</i>	1,63-2,60	<i>Gneiss</i>	2,59-3,00	<i>Granit</i>	2,50-2,81
<i>Gravel</i>	1,70-2,40	<i>Phyllite</i>	2,68-2,80	<i>Andesit</i>	2,40-2,80
<i>Silt</i>	1,40-1,93	<i>Slate</i>	2,70-2,90	<i>Synite</i>	2,60-2,80
<i>Soil</i>	1,80-2,20	<i>Granulite</i>	2,52-2,70	<i>Basalt</i>	2,70-3,30
<i>Sand</i>	1,20-2,40	<i>Amphibolite</i>	2,90-3,04	<i>Gabro</i>	2,70-3,30
<i>Sandstone</i>	1,61-2,76	<i>Eclogite</i>	3,20-3,54		
<i>Shale</i>	1,77-3,20				
<i>Limestone</i>	1,93-2,90				

### G. Percepatan Getaran Tanah Maksimum (PGA)

Percepatan getaran maksimum atau *Peak Ground Acceleration* (PGA) adalah nilai percepatan getaran tanah terbesar yang pernah terjadi di suatu tempat yang diakibatkan oleh gelombang gempabumi. Percepatan getaran tanah maksimum yang terjadi pada suatu titik tertentu dalam suatu kawasan dihitung dari semua gempa yang terjadi pada kurun waktu tertentu dengan memperhatikan besar magnitudo dan jarak hiposenternya, serta periode dominan tanah dimana titik tersebut berada (Kirbani, 2012).

Metode Kanai merupakan salah satu metode pendekatan empiris yang dapat digunakan untuk menghitung nilai percepatan getaran tanah maksimum. Metode ini memperhitungkan input parameter gempa bumi seperti episenter, kedalaman dan magnitudo, serta periode dominan tanah sebagai input parameter hasil analisis

mikrotremor. Persamaan empiris untuk menghitung nilai percepatan getaran tanah maksimum menggunakan metode Kanai (1966) ditunjukkan oleh persamaan (19) (Douglas, 2011).

$$a_g = \frac{a_1}{\sqrt{T_g}} 10^{a_2 M - P \log R + Q} \quad (19)$$

dengan

$$P = a_2 + \frac{a_4}{R} \quad (20)$$

dan

$$Q = a_5 + \frac{a_6}{R} \quad (21)$$

dengan  $a_g$  adalah percepatan tanah di titik pengukuran ( $\text{cm/s}^2$ ) atau (gal),  $T_g$  adalah periode dominan tanah (s),  $M$  adalah magnitudo gempabumi dalam skala Richter,  $R$  adalah jarak hiposenter (km), dan dengan konstanta-konstanta  $a_1 = 5$ ;  $a_2 = 0,61$ ;  $a_3 = 1,66$ ;  $a_4 = 3,60$ ;  $a_5 = 0,167$ ; dan  $a_6 = -1,83$ .

Semakin besar nilai percepatan getaran tanah yang pernah terjadi di suatu tempat, semakin besar dampak gempabumi yang mungkin terjadi. Dampak yang ditimbulkan oleh gempabumi dapat diperkirakan berdasarkan intensitas gempabumi tersebut. Intensitas gempabumi dinyatakan dalam skala Mercally yang disebut MMI (*Modifed Mercally Intensity*) seperti Tabel 5. Skala gempabumi MMI bersifat kualitatif. Skala intensitas ini sangat subjektif dan bergantung pada kondisi lokasi dimana gempabumi terjadi (Lowrie, 2007).



Tabel 5. Intensitas gempabumi skala MMI (Lowrie, 2007)

<b>Tingkat Kerawanan</b>	<b>Skala MMI</b>	<b>Rentang Nilai MMI</b>	<b>PGA (gal)</b>	<b>Dampak atau Tingkat Kerusakan yang Ditimbulkan</b>
Rendah	I	0,5 - 1,49	<1,7	Getaran tidak dapat dirasakan kecuali dalam keadaan hening, dan hanya dirasakan oleh beberapa orang.
	II	1,50 - 2,50	1,7 - 14	Getaran dirasakan oleh beberapa orang yang diam, berada di ruangan tingkat atas dan benda-benda ringan yang digantung terlihat bergoyang.
	III	3,50 - 4,50		Getaran dirasakan di rumah tingkat atas, getaran terasa seperti ada truk yang lewat, lamanya getaran dapat ditentukan.
	IV	3,50 - 4,50	14 - 39	Pada siang hari dirasakan oleh banyak orang di dalam rumah, beberapa orang di luar rumah, kendaraan yang diam terlihat bergerak dengan jelas. Pada malam hari orang terbangun, gelas dapat pecah, jendela dan pintu berbunyi.
Menengah	V	4,51 - 5,49	39 - 92	Hampir semua orang merasakan getaran, jendela kaca dan plester dinding pecah, barang-barang terpelanting, pohon-pohon yang tinggi tampak bergoyang.
	VI	5,50 - 6,50	92 - 180	Getaran dirasakan oleh semua penduduk, mayoritas penduduk kaget dan lari keluar, plester dinding dan cerobong asap pabrik rusak. Terjadi kerusakan ringan.
	VII	6,51 - 7,49	180 - 340	Semua orang keluar rumah, kerusakan ringan pada rumah dengan konstruksi baik. Cerobong asap pecah

				atau retak-retak. Getaran terasa oleh orang yang naik kendaraan.
	VIII	7,50 - 8,50	340 - 650	Kerusakan ringan pada bangunan dengan konstruksi kuat, retak-retak pada bangunan yang kuat. Banyak kerusakan pada bangunan yang tidak kuat. Meja kursi terlempar, air menjadi keruh dan sulit mengendarai kendaraan.
Tinggi	IX	8,51 - 9,49	650-1240	Umumnya pondasi rumah rusak, rangka struktur bangunan terpuntir, rumah tampak bergeser dari pondasinya, pipa-pipa dalam tanah terputus.
	X	9,50 - 10,50	>1240	Bangunan tembok dan pondasinya hancur, bangunan kayu rusak, dan rel kereta api sedikit membengkok.
	XI	10,51 - 11,49		Rel kereta api bengkok, rumah kayu sedikit yang masih berdiri, jembatan rusak berat dan tidak dapat digunakan.
	XII	11,50 - 12,50		Kerusakan hampir menyeluruh, penglihatan kabur, benda-benda terlempar ke udara.

Periode dominan ( $T_g$ ) merupakan salah satu parameter yang mempengaruhi nilai percepatan getaran tanah maksimum. Periode dominan diperoleh dari frekuensi dominan ( $f_o$ ) yang dapat mengindikasikan karakter lapisan batuan yang ada di suatu wilayah (Arifin *et al.*, 2014). Periode dominan tanah akan mempengaruhi besarnya percepatan batuan pada lapisan batuan dasar (*base rock*) dan pada permukaan (*ground surface*). Berdasarkan besarnya periode

predominan ( $T_g$ ), dapat diketahui perbedaan karakteristik tanah dan geologi di daerah penelitian seperti Tabel 6.

Tabel 6. Klasifikasi tanah konversi Kanai & Tanaka dengan Omote-Nakajima (Gunawan dan Subardjo, 2005; Pitilakis *et al*, 2004).

Klasifikasi Tanah		Periode predominan (sekon)	Frekuensi Predominan (Hz)	Keterangan
Kanai	Omote - Najima			
Jenis I	Jenis A	0,05 – 0,15	6,7 – 20	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan pasir berkerikil keras ( <i>hard sandy gravel</i> ).
Jenis II	Jenis B	0,10 – 0,25	4 – 6,7	Batuan alluvial dengan ketebalan 5m. Terdiri dari pasir kerikil ( <i>sandy gravel</i> ), lempung keras berpasir ( <i>sandy hard clay</i> ), lempung ( <i>loam</i> ), dan sebagainya.
Jenis III	Jenis C	0,25 – 0,40	2,5 – 4	Batuan alluvial yang hampir sama dengan tanah jenis II, hanya dibedakan oleh adanya formasi yang belum diketahui ( <i>buff formation</i> ).
Jenis IV	Jenis D	>0,40	1,4 – 2,5	Batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, <i>top soil</i> , lumpur, tanah lunak, humus, endapan delta atau endapan lumpur yang tergolong ke dalam tanah lembek, dengan kedalaman 30m.

#### H. Kecepatan Gelombang Geser ( $V_{s30}$ )

$V_{s30}$  merupakan kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 meter dari permukaan. Nilai  $V_{s30}$  ini dapat digunakan untuk menentukan standar bangunan tahan gempa. Nilai  $V_{s30}$  ini digunakan untuk klasifikasi batuan berdasarkan kekuatan getaran gempabumi (Lantu *et al*, 2018). Klasifikasi batuan berdasarkan

nilai  $V_{s30}$  ditunjukkan pada Tabel 7. Nilai  $V_{s30}$  dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (22).

Tabel 7. Klasifikasi Jenis Batuan berdasarkan *Uniform Building Code* (Nurrahmi, *et al*, 2015)

<b>Tipe Batuan</b>	<b>Profil Jenis Batuan</b>	<b><math>V_{s30}</math></b>
A	<i>Hard Rock</i> (Batuan Keras)	>1500 m/s
B	<i>Rock</i> (Batuan Sedang)	760 -1500 m/s
C	<i>Very Dense Soil and Soft Rock</i> (Tanah Keras dan Batuan Lunak)	360 – 760 m/s
D	<i>Stiff Soil</i> (Tanah Sedang)	180 – 360 m/s
E	<i>Soft Soil</i> (Tanah Lunak)	<180 m/s

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{v_i}} \quad (22)$$

dengan 30 adalah konstanta yang menyatakan kedalaman yang digunakan yaitu 30 meter,  $h_i$  adalah ketebalan lapisan (m),  $v_i$  adalah kecepatan gelombang S (m/s) dan  $N$  adalah jumlah lapisan hingga kedalaman 30 meter. Nilai  $h_i$  dan  $v_i$  diperoleh dari model akhir hasil inversi dengan menganalisis kurva H/V menggunakan pemodelan *ellipticity curve* pada Dinver.

## I. Indeks Topografi (TI)

Indeks topografi atau *Topography Index* (TI) merupakan suatu rasio antara dua unsur yaitu drainase dan kemiringan lereng yang menjadi ukuran penentu suatu lahan yang pertama kali dikembangkan oleh Beven dan Kirby pada tahun 1979. Indeks topografi menggambarkan kecenderungan air untuk terakumulasi pada suatu titik berdasarkan gaya gravitasi dimana air mengalir ke tempat yang lebih rendah. Dalam hal ini air mengalir menuju lereng bawah, dengan demikian nilai indeks akan semakin besar pada lereng yang sangat datar dan sebaliknya nilai indeks semakin kecil pada lereng yang curam. Untuk daerah yang terakumulasi oleh

aliran air maka tanah akan menjadi jenuh air dan tanah menjadi basah. Berdasarkan Beven dan Kirby, persamaan utama yang digunakan dalam perhitungan TI adalah sebagai berikut (Nucifera & Putro, 2017):

$$TI = \ln \left( \frac{\alpha}{\tan \beta} \right) \quad (23)$$

dengan  $\alpha$  adalah daerah drainase, dan  $\beta$  adalah kemiringan lereng.

## **J. Geologi Daerah Penelitian**

Daerah penelitian terletak di Kecamatan Tambak yang merupakan salah satu kecamatan yang terdapat di Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah. Kecamatan Tambak terdiri atas 12 desa dengan luas wilayah 52,03 km<sup>2</sup>, dan jumlah penduduk sebanyak 42.616 jiwa (BPS Banyumas, 2015). Batas administrasi Kecamatan Tambak dengan daerah di sekitarnya yaitu sebelah utara berbatasan dengan Kabupaten Banjarnegara, sebelah timur berbatasan dengan Kecamatan Rowokele Kabupaten Kebumen, sebelah selatan berbatasan dengan Kecamatan Ayah Kabupaten Kebumen, sedangkan sebelah barat berbatasan dengan Kecamatan Sumpiuh Kabupaten Banyumas.

Pada peta geologi lembar Banyumas, Kecamatan Tambak merupakan wilayah yang terdiri atas tiga formasi batuan. Ketiga formasi batuan tersebut yaitu: Formasi Alluvium, Formasi Halang dan Anggota Breksi Formasi Halang.

### **1. Formasi Alluvium**

Formasi alluvium merupakan formasi batuan termuda yang berumur holosen. Susunan formasi ini terdiri dari lempung, lanau, pasir, kerikil dan kerakal (Asikin *et al*, 1992).

## 2. Formasi Halang

Formasi Halang merupakan formasi batuan yang berumur miosen akhir hingga pliosen. Formasi ini tersusun atas persilangan batupasir, batu lempung, napal dan tuf dengan sisipan breksi yang dipengaruhi oleh arus turbid dan pelengseran bawah air laut (Asikin *et al*, 1992). Arus turbid ini terjadi karena adanya longsor pada lereng benua yang disebabkan oleh getaran, baik itu gempa bumi maupun tsunami, kemudian sedimen pada lereng suatu cekungan meluncur. Sedimennya lepas-lepas dan butirannya bergerak sendiri-sendiri yang pada awalnya masih terikat dan menyatu karena kohesi antar butirannya. Butiran ini pada akhirnya mengendap pada dasar cekungan (Lohonauman *et al*, 2016).

## 3. Anggota Breksi Formasi Halang

Anggota Breksi Formasi Halang merupakan batuan yang berumur miosen. Batuan ini berupa breksi dengan komponen andesit, basal dan batu gamping, massa dasar batu pasir tufan kasar, sisipan batu pasir dan lava basal (Asikin *et al*, 1992).

## **K. Kerangka Berpikir**

Data yang diperoleh dari penelitian di Kecamatan Tambak merupakan data mentah berupa sinyal mikrotremor. Sinyal mikrotremor memiliki 2 komponen yaitu komponen vertikal dan horizontal, sedangkan komponen horizontal terdiri dari horizontal utara-selatan dan barat-timur. Dipilih data mikrotremor yang tidak mengandung *noise* dengan *Sessary Geopsy*. Pemilihan sinyal tanpa *noise* (*windowing*) dilakukan dengan *cut* gelombang. Selanjutnya data dianalisis dengan metode HVSR menggunakan OpenHVSR yang dibuka menggunakan *software*

MATLAB 2017b. Dari analisis akan diperoleh kurva  $H/V$  yang menunjukkan nilai frekuensi dominan ( $f_o$ ) dan faktor amplifikasi ( $A_o$ ).

Dalam menentukan nilai percepatan tanah maksimum digunakan metode Kanai (1966) dengan menggunakan persamaan (19) untuk *event* gempa Tasikmalaya 2 September 2009 yang berkekuatan 7.3 skala Richter. Pada metode Kanai (1966) perlu ditentukan episenter, kedalaman dan magnitudo, serta periode dominan tanah.

Nilai kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 meter ( $V_{s30}$ ) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (22) yang melibatkan parameter ketebalan sedimen dan kecepatan gelombang geser. Nilai ketebalan sedimen dan kecepatan gelombang S diperoleh dari model akhir hasil inversi dengan menganalisis kurva  $H/V$  menggunakan pemodelan *ellipticity curve* pada Dinver. Nilai TI yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari *Natural Environment Research Council (NERC) Environmental Information Data Centre* (Marthews *et al*, 2015). Data yang diperoleh berupa lintang, bujur, dan nilai TI di seluruh dunia. Nilai TI yang digunakan yaitu sesuai dengan lintang dan bujur daerah penelitian.

Nilai ND dapat ditentukan menggunakan persamaan (4) yang melibatkan parameter jarak pantai dan jarak gunung dengan daerah penelitian. Jarak pantai dan jarak gunung diukur menggunakan *software Google Earth*. Selanjutnya menentukan nilai Probabilitas ( $P$ ) dengan menggunakan persamaan (2) yang melibatkan parameter  $X$ . Nilai  $X$  ditentukan menggunakan persamaan (3). Nilai

probabilitas ini berkisar antara nol dan satu. Semakin tinggi nilai probabilitas maka potensi likuifaksi semakin tinggi.



### **BAB III**

#### **METODE PENELITIAN**

##### **A. Waktu dan Tempat Penelitian**

Pengambilan data mikrotremor dilakukan pada tanggal 6 – 9 Desember 2018. Sebelum dilakukan pengambilan data, telah dilakukan studi literatur dan diskusi yang dimulai pada bulan September 2018. Pengambilan data dilakukan di 12 desa yang berada pada Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas, yakni Desa Watuagung, Desa Kamulyan, Desa Gumelar Lor, Desa Gumelar Kidul, Desa Purwodadi, Desa Plangkapan, Desa Gebangsari, Desa Karangpucung, Desa Karangpetir, Desa Pesantren, Desa Prembun, Desa Buniayu, dan beberapa tempat di sekitarnya sebanyak 39 titik lokasi pengukuran dengan jarak antar titik sejauh 1 km.

##### **B. Instrumen Penelitian**

Alat yang digunakan dalam penelitian ini berupa perangkat keras dan perangkat lunak.

###### **1. Perangkat keras (*Hardware*)**

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini adalah (Gambar 7):

a. *Digital Portable Seismograph* merek Taide tipe TDL-303S sebagai alat perekam sinyal mikrotremor yang terdiri dari beberapa perangkat, yaitu:

- 1) Seismometer merek Taide tipe TDV-23S merupakan sensor yang digunakan untuk menangkap getaran tanah.
- 2) *Digitizer* digunakan untuk mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital.

- 3) Antena GPS berfungsi untuk menerima data lokasi dan waktu dari satelit.
  - 4) Kabel penghubung berfungsi untuk menghubungkan seismometer, *digitizer* dan laptop.
- b. Laptop untuk mengunduh dan menyimpan sinyal mikrotremor dari *digitizer* serta sebagai media pengolahan data dan penyusunan skripsi.
  - c. Kompas untuk menentukan arah utara sebelum pemasangan seismometer.
  - d. *Global Positioning System* (GPS) merek Garmin tipe 78S untuk mengetahui dan menandai titik koordinat penelitian.
  - e. Lembar *check list* survei mikrotremor yang digunakan untuk mencatat keadaan lingkungan pada saat melakukan pengambilan data.
  - f. Sekop yang digunakan untuk meratakan tanah sebelum meletakkan sensor.
  - g. Kamera ponsel digunakan untuk dokumentasi.

## 2. Perangkat Lunak (*Software*)

Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- a. *Google Earth* untuk memperkirakan lokasi penelitian dan menentukan titik pengambilan data.
- b. *Surfer 12* untuk membuat desain survei dan desain pengambilan data.
- c. *Global Mapper 13* untuk memasukkan titik koordinat penelitian ke GPS dan memotong peta.
- d. *Geopsy* untuk mengolah sinyal mikrotremor sehingga didapatkan kurva H/V dan untuk memotong sinyal.

- e. *Command Prompt* untuk menggabungkan sinyal yang telah dipotong.
- f. MATLAB 2017b untuk menjalankan program OpenHVSr sehingga diperoleh kurva H/V.
- g. Program Dinver pada *software Geopsy* untuk menganalisis kurva H/V menggunakan metode *ellipticity curve* (inversi gelombang Rayleigh) untuk mendapatkan nilai  $V_s$ .
- h. Microsoft Excel untuk membuat grafik penampang seismik kurva H/V.
- i. Notepad++ untuk mengubah format file.hv menjadi format file.saf.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

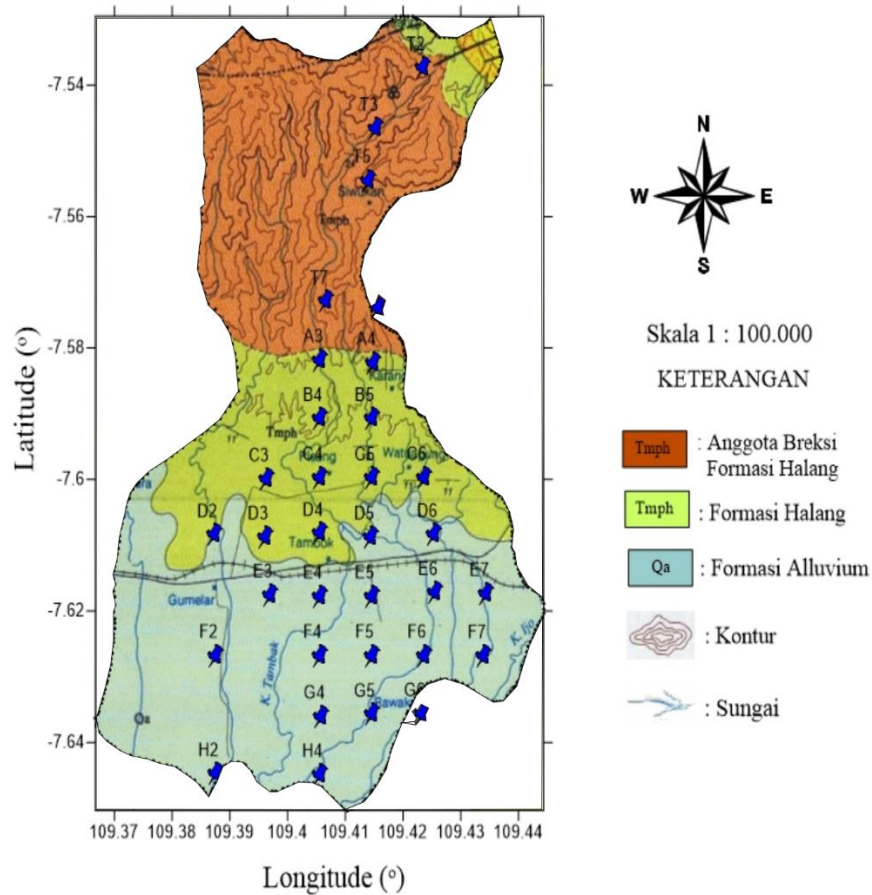
Gambar 7. Perangkat Keras Pengukuran Mikrotremor (a) *Digitizer*, (b) Seismometer merek Taide tipe TDV23S, (c) Antena GPS, (d) GPS merek Garmin tipe 78S, (e) Laptop, (f) Kompas.

## **C. Teknik Pengambilan Data**

### **1. Survei**

Pada tahap ini dilakukan survei ke daerah penelitian, yaitu Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas untuk melihat kondisi daerah penelitian dan mencari informasi terkait daerah penelitian. Hal ini bertujuan untuk mengetahui batasan wilayah yang akan diteliti serta sebagai acuan pembuatan desain survei penelitian. Setelah itu membuat peta desain survei dengan jarak spasi sejauh satu kilometer agar data dapat mencakup dan mewakili kawasan Kecamatan Tambak yang terdiri dari tiga formasi geologi, sehingga ditetapkan 56 titik penelitian. Pembuatan desain survei diawali dengan meregister peta Kecamatan Tambak di *Global Mapper* dan diubah menjadi format file.tif, sehingga dalam proses pembuatan desain survei di *Surfer 12* dapat ditambahkan titik koordinat.

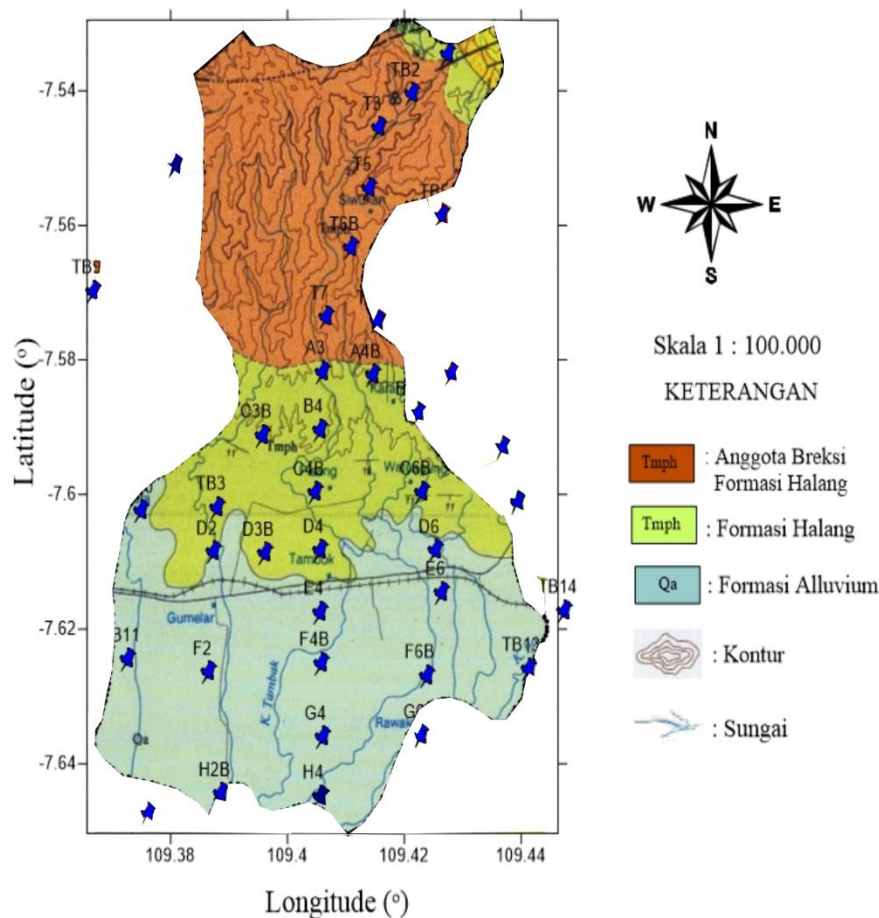
Setelah pembuatan desain survei, tahap selanjutnya adalah melakukan survei kembali ke lapangan. Titik koordinat lokasi penelitian kemudian dimasukkan ke dalam GPS. GPS berfungsi untuk memandu peneliti menuju titik koordinat lokasi penelitian, mengetahui pergeseran titik koordinat penelitian, dan menandai lokasi baru tersebut di dalam GPS. Pergeseran titik koordinat dilakukan karena lokasi sulit dijangkau atau kondisi lokasi tidak sesuai dengan persyaratan teknis survei mikrotremor yang tertera dalam *SESAME European Research Project* (2004) yang ditunjukkan pada Tabel 8. Jumlah titik penelitian setelah dilakukan survei ditetapkan menjadi 33 titik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Desain survei titik pengukuran di Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas

## 2. Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan di setiap titik penelitian. Beberapa titik penelitian ada yang bergeser, dihilangkan, dan ditambahkan. Hal tersebut dilakukan karena mengacu pada persyaratan *SESAME European Research Project* (2004). Selain itu, diperlukan data pembanding sehingga dilakukan pengukuran mikrotremor di luar area penelitian. Desain pengambilan data ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Desain survei pengambilan data di Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas

Pengukuran sinyal mikrotremor menggunakan frekuensi *sampling* 100 Hz dan dilakukan di setiap titik penelitian selama 30 menit. Durasi tersebut mengacu pada durasi pengukuran yang disarankan oleh *SESAME European Research Project* (2004). Sinyal yang ditangkap oleh seismometer secara otomatis tersimpan dalam *digitizer* yang terekam dalam 3 komponen, yaitu 1 komponen vertikal dan 2 komponen horizontal (Utara – Selatan dan Barat – Timur). Setelah pengukuran selesai, data yang tersimpan dalam *digitizer* diunduh dalam laptop menggunakan *software NetRec*.

Tabel 8. Standar operasional pengukuran mikrotremor (SESAME, 2004).

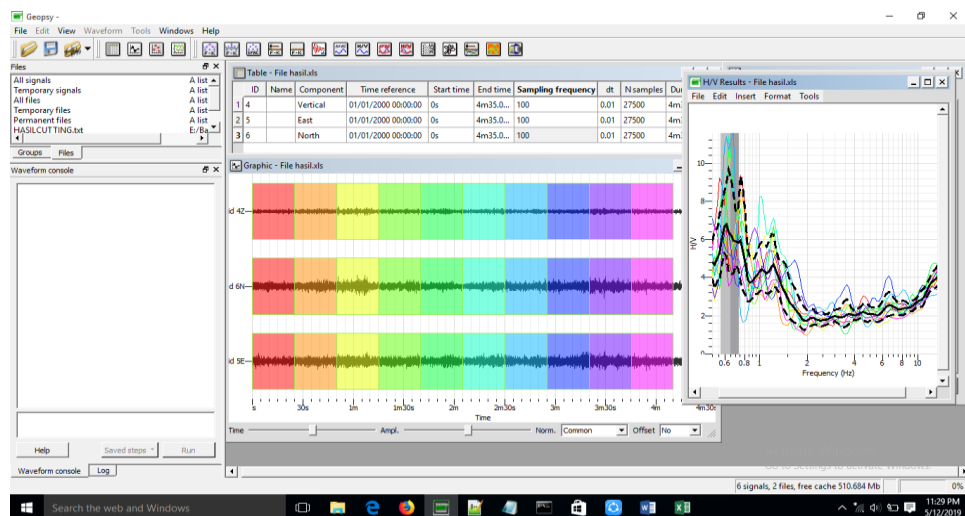
Jenis parameter	Saran yang dianjurkan	
	$f_0$ minimum yang diharapkan (Hz)	Durasi pencatatan minimum yang disarankan (menit)
Durasi pencatatan	0,2	30
	0,5	20
	1	10
	2	5
	5	3
	10	2
<i>Coupling soil-sensor</i> <b>alam</b> ( <i>in situ</i> )	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Atur sensor pada permukaan tanah.</li> <li>2. Hindari penempatan sensor pada permukaan tanah lunak (lumpur, semak-semak) atau tanah lunak setelah hujan</li> </ol>	
<i>Coupling soil-sensor</i> <b>buatan</b> ( <i>Artificial</i> )	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Hindari lempengan yang terbuat dari material lunak seperti karet dan busa.</li> <li>2. Pada kemiringan yang curam dimana sulit mendapatkan level sensor yang baik, pasanglah sensor menggunakan timbunan pasir atau wadah yang diisi pasir.</li> </ol>	
Keberadaan Bangunan atau pohon	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Hindari pengukuran dekat dengan bangunan, gedung bertingkat, dan pohon yang tinggi jika tiupan angin di atas <math>\pm 5</math> m/s. Kondisi ini sangat mempengaruhi hasil analisis HVSR yang ditunjukkan dengan kemunculan frekuensi rendah pada kurva.</li> <li>2. Hindari pengukuran di lokasi tempat parkir, pipa air, dan gorong-gorong.</li> </ol>	
Kondisi Cuaca	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Angin: lindungi sensor dari angin jika kecepatan angin di atas <math>\pm 5</math> m/s.</li> <li>2. Hujan: hindari pengukuran di bawah terpaan hujan lebat kecuali hujan ringan karena tidak memberikan gangguan yang berarti.</li> <li>3. Suhu: memeriksa sensor seismograf dan mengikuti instruksi pabrik.</li> </ol>	
Gangguan	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sumber monokromatik: hindari pengukuran mikrotremor dekat dengan mesin, industri, pompa air, dan generator yang sedang beroperasi.</li> <li>2. Sumber sementara: jika terdapat sumber getar <i>transient</i> (jejak) langkah kaki, mobil lewat, motor lewat, tingkatkan durasi pengukuran untuk memberikan jendela yang cukup untuk analisis setelah gangguan.</li> </ol>	

## D. Teknik Analisis Data

Langkah kerja analisis data penelitian ini sebagai berikut:

### 1. Menganalisis Sinyal Mikrotremor

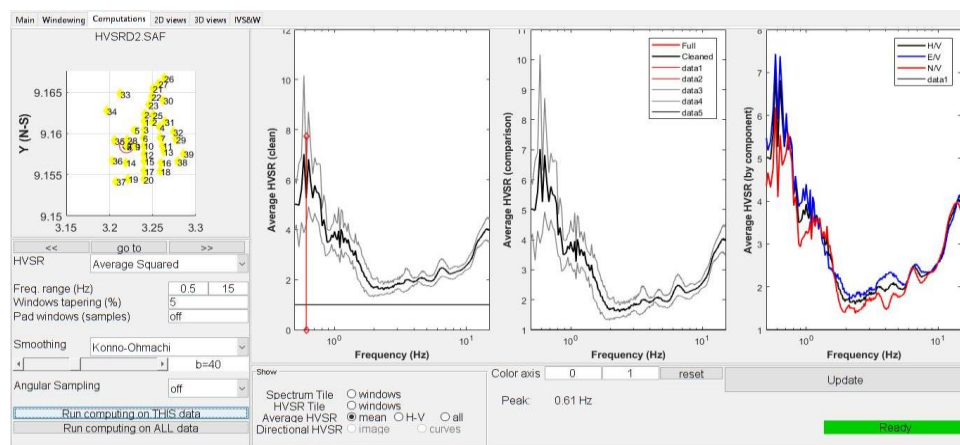
Sinyal mikrotremor dari hasil pengukuran dianalisis menggunakan *software* Geopsy. Langkah pertama dilakukan proses *windowing* yaitu pemilihan sinyal tanpa *noise* dan *cutting* (memotong) sinyal. Pemilihan *window* dilakukan secara manual dengan panjang *window* 25 detik dengan membuka *Trace* sinyal yaitu 3 *file* komponen sinyal yang dibuka menggunakan Microsoft Excel. Selanjutnya 3 *file* sinyal digabung menjadi satu ke Microsoft Excel dan dipilih sinyal yang mempunyai nilai di antara -3333.3 hingga 3333.3 dari masing-masing sinyal pada waktu yang sama. Setiap sinyal memberikan sebanyak 27500 data untuk 11 *window*. Hasil tersebut dianalisis menggunakan *software* Geopsy untuk mendapatkan kurva H/V berupa nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) dan faktor amplifikasi ( $A_0$ ) kemudian disimpan dalam format .hv seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Analisis sinyal mikrotremor menggunakan *software* Geopsy



Sinyal mikrotremor selanjutnya dianalisis kembali menggunakan program OpenHVSRR yang dijalankan oleh Matlab 2017b. Sebelum diolah menggunakan program OpenHVSRR, sinyal terlebih dahulu diubah ke dalam format .saf menggunakan Notepad++. Hasil analisis menggunakan program OpenHVSRR sama seperti analisis menggunakan *software* Geopsy yaitu berupa kurva H/V yang ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Kurva H/V hasil analisis *software* Matlab2017b menggunakan program OpenHVSRR.

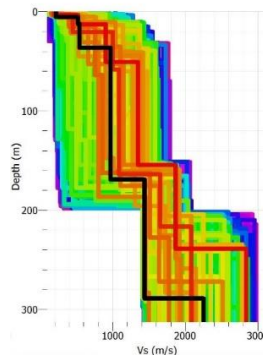
## 2. Menganalisis percepatan getaran tanah maksimum (PGA)

Percepatan getaran tanah maksimum atau *Peak Ground Acceleration* (PGA) dianalisis menggunakan metode Kanai (1966) sesuai persamaan (19) dengan *input* berupa nilai periode dominan tanah, episenter, kedalaman, dan magnitudo. Periode dominan diperoleh dari nilai frekuensi dominan. Jarak episenter, kedalaman, dan magnitudo gempabumi menggunakan data kejadian gempa bumi Tasikmalaya pada 2 September 2009. Menurut BMKG (2009), gempabumi Tasikmalaya 2 September 2009 yang berepisenter di 8,24°LS 107,32°BT terjadi pada kedalaman 30 kilometer dengan magnitudo

7,3. Nilai percepatan getaran tanah maksimum di setiap titik penelitian dapat diperoleh dengan memasukkan parameter-parameter ke persamaan (19). Langkah selanjutnya membuat mikrozonasi percepatan getaran tanah maksimum menggunakan *software Surfer* yang dioverlay dengan data DEM, geologi dan titik koordinat daerah penelitian.

### **3. Menganalisis Kurva H/V untuk menentukan kecepatan gelombang geser kedalaman 30 meter ( $V_{s30}$ )**

Hasil pengolahan sinyal mikrotremor menggunakan program OpenHVSR disimpan dalam format .hv, namun harus diubah ke dalam format .hvs yang sesuai dengan format *software Geopsy*. Selanjutnya dianalisis menggunakan program Dinver pada *software Geopsy* dengan metode *ellipticity curve*. Pengolahan menggunakan metode ini dilakukan dengan mengisi kondisi di suatu titik pengukuran seperti kecepatan gelombang primer ( $v_p$ ), kecepatan gelombang sekunder ( $v_s$ ), Poisson *ratio*, dan kerapatan tanah. Kecocokan antara kurva H/V dengan parameter-parameter yang dimasukkan dapat diketahui dari *misfit* yang bernilai  $<1$ . Hasil pengolahan yang dihasilkan adalah *ground profile* yang menunjukkan nilai gelombang geser ( $V_s$ ) dan kedalaman ( $h$ ) pada setiap lapisan, yang ditunjukkan pada Gambar 12. Nilai kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) dan kedalaman ( $h$ ) digunakan untuk menentukan nilai kecepatan gelombang geser pada kedalaman 30 meter ( $V_{s30}$ ) menggunakan persamaan (11). Selanjutnya dibuat mikrozonasi  $V_{s30}$  menggunakan *software Surfer* yang dioverlay dengan data DEM, geologi dan titik koordinat daerah penelitian.



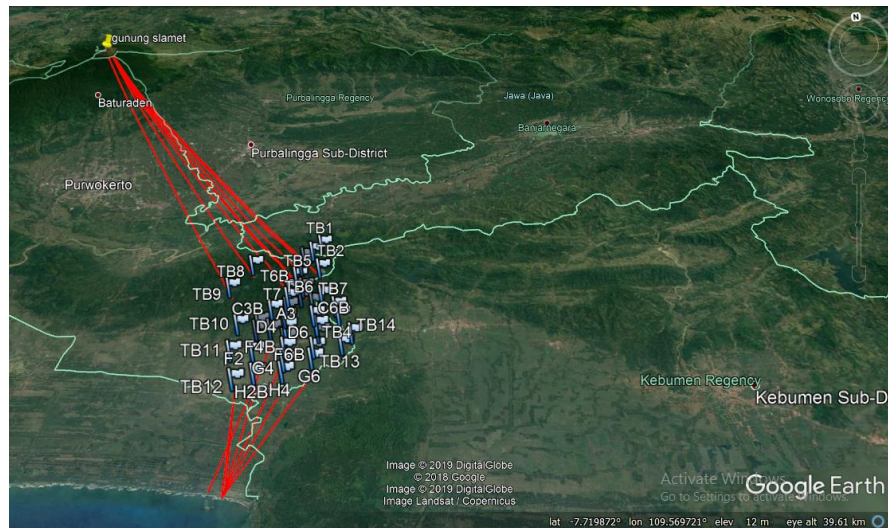
Gambar 12. Ground profile kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) dan kedalaman ( $h$ )

#### 4. Menganalisis Indeks Topografi (TI)

Nilai Indeks Topografi atau *Topography Index* (TI) dalam penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari *Natural Environment Research Council* (NERC) *Environmental Information Data Centre* (Marthews *et al*, 2015). Data yang diperoleh berupa lintang, bujur, dan nilai TI di seluruh dunia dengan format file.nc. File ini bisa dibuka menggunakan *software PanoplyWin* yang ditunjukkan pada Gambar 13. Nilai TI yang digunakan disesuaikan dengan lintang dan bujur daerah penelitian. Selanjutnya dibuat mikrozonasi nilai TI menggunakan *software Surfer* yang dioverlay dengan data DEM, geologi dan titik koordinat daerah penelitian.

#### 5. Menganalisis *Normalized Distance* (ND)

ND dianalisis menggunakan persamaan (4) dengan *input* berupa jarak pantai dan jarak gunung. Jarak pantai dan jarak gunung dicari menggunakan *Google Earth* dengan cara menarik garis dari titik penelitian sampai pantai dan gunung terdekat seperti ditunjukkan Gambar 13. Selanjutnya dibuat mikrozonasi nilai ND menggunakan *software Surfer* yang dioverlay dengan data DEM, geologi, dan titik koordinat daerah penelitian.



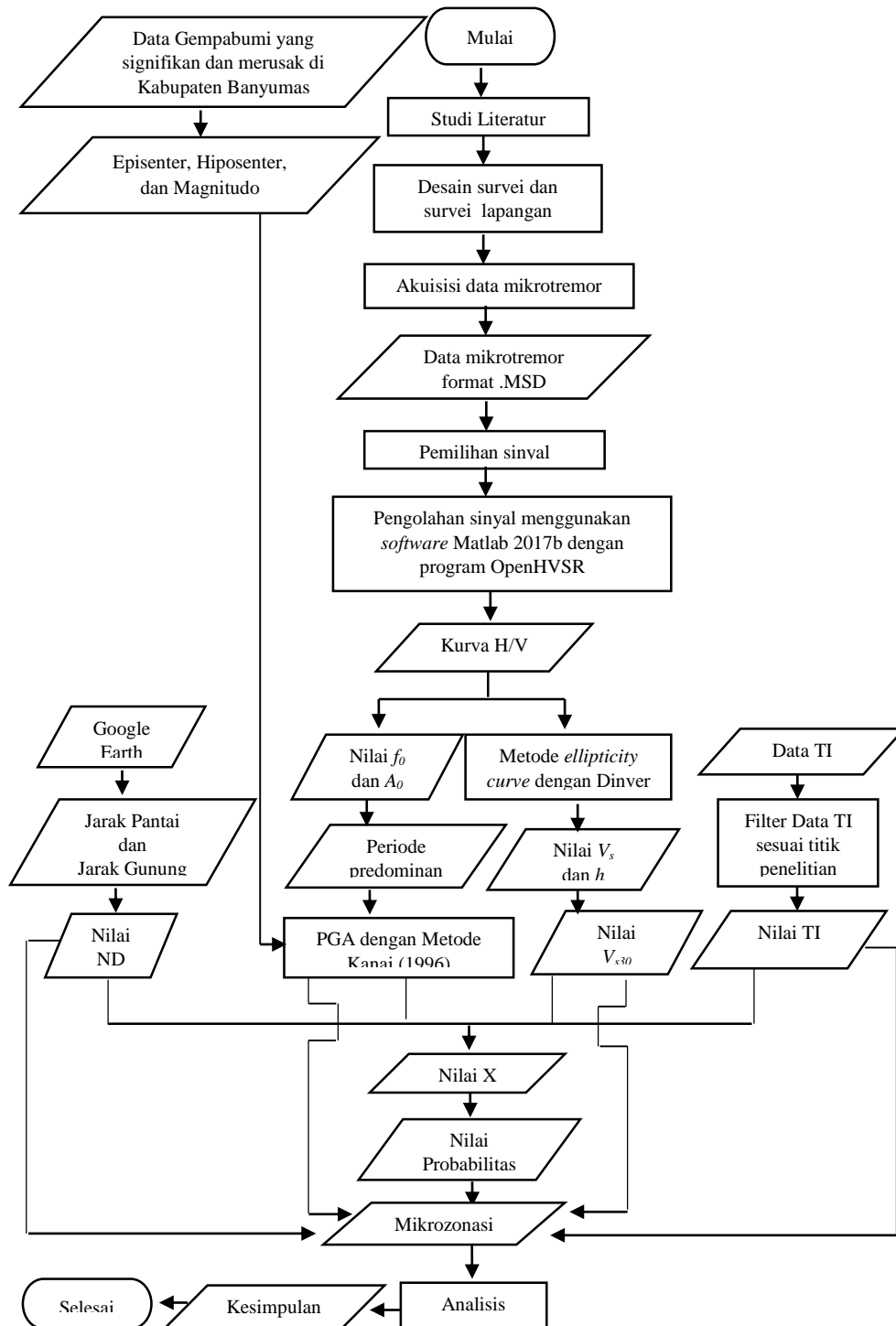
Gambar 13. Mengukur jarak pantai dan gunung dari titik penelitian menggunakan Google Earth

## 6. Menganalisis Probabilitas ( $P$ )

Nilai probabilitas dianalisis menggunakan persamaan (2) yang melibatkan parameter  $X$ . Parameter  $X$  diperoleh dari persamaan (3) dengan *input* berupa percepatan getaran tanah maksimum (PGA), kecepatan gelombang geser pada kedalaman 30 meter ( $V_{s30}$ ), indeks topografi (TI), dan *normalized distance* (ND). Selanjutnya dibuat mikrozonasi nilai probabilitas menggunakan *software Surfer* yang dioverlay dengan data DEM, geologi, dan titik koordinat daerah penelitian.

### E. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Diagram Alir Penelitian

## BAB IV

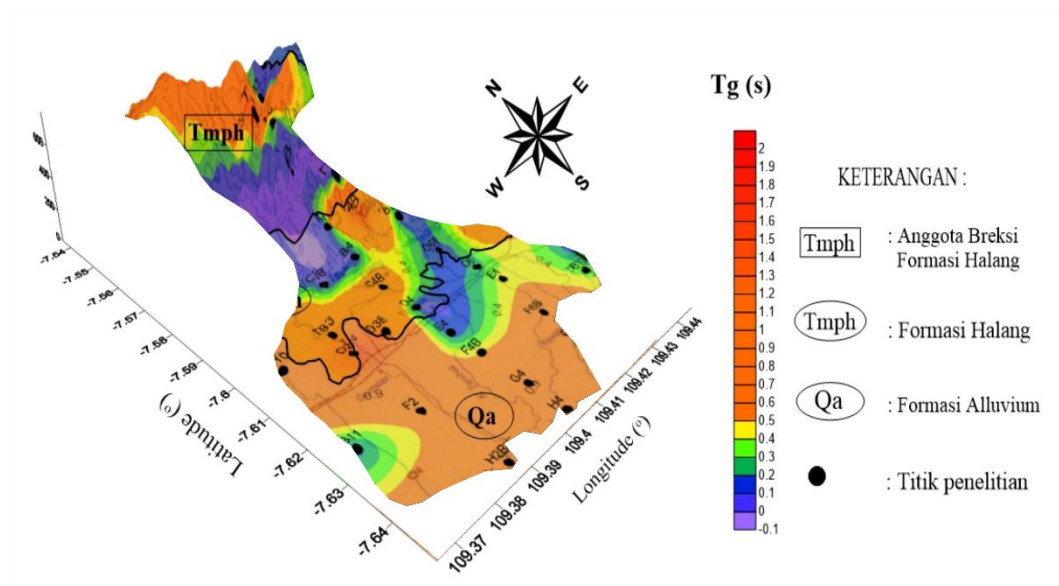
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah potensi likuifaksi di Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas. Secara geografis wilayah Kecamatan Tambak bagian selatan merupakan dataran rendah sedangkan bagian paling utara berupa pegunungan. Kondisi geologi lokasi penelitian terdiri dari tiga formasi batuan, yaitu Formasi Alluvium, Formasi Halang dan Anggota Breksi Formasi Halang. Identifikasi kemungkinan adanya potensi likuifaksi dikaji dengan metode *Global Geospatial Model*. Metode *Global Geospatial Model* bergantung pada parameter PGA,  $V_{s30}$ , TI, dan ND.

Parameter PGA dan  $V_{s30}$  diperoleh dari hasil pengukuran mikrotremor di lapangan. Hasil pengukuran mikrotremor berupa data *transient* sinyal seismik berdomain waktu, dan dianalisis menggunakan metode HVSR untuk memperoleh kurva H/V. Kurva H/V akan memberikan informasi tentang frekuensi dominan dan faktor amplifikasi, dimana frekuensi dominan akan digunakan untuk menentukan nilai periode dominan ( $T_g$ ). Nilai periode dominan ( $T_g$ ) digunakan untuk menentukan nilai percepatan getaran tanah maksimum (PGA). Kurva H/V juga memberikan informasi tentang kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) dan ketebalan lapisan ( $h$ ) melalui metode *ellipticity curve*. Nilai  $V_s$  dan  $h$  digunakan untuk menentukan nilai kecepatan gelombang geser pada kedalaman 30 meter ( $V_{s30}$ ).

### A. Nilai Percepatan Getaran Tanah Maksimum (PGA)

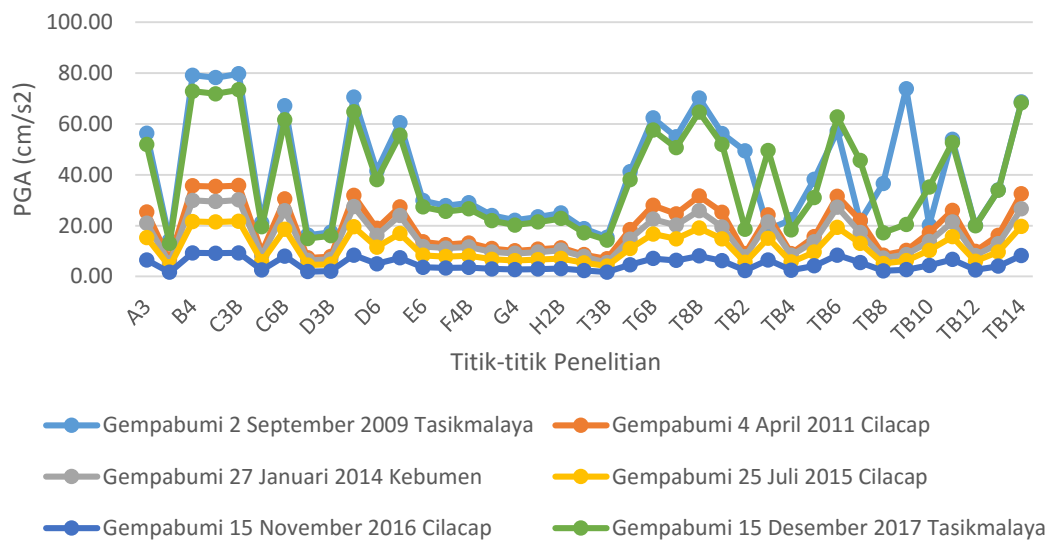
Nilai percepatan tanah maksimum (PGA) pada penelitian ini ditentukan dengan metode Kanai berdasarkan persamaan (19). Nilai percepatan getaran tanah maksimum dipengaruhi oleh periode dominan ( $T_g$ ), magnitudo ( $M$ ), dan jarak hiposenter ( $R$ ). Berdasarkan persamaan empiris yang digunakan, nilai periode dominan berbanding terbalik dengan nilai PGA. Jadi ketika nilai periode dominan tinggi, maka nilai PGA rendah dan sebaliknya ketika nilai periode dominan rendah maka nilai PGA tinggi. Mikrozonasi periode dominan ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 15. Mikrozonasi nilai periode dominan Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas.

Pada Gambar 15 nilai periode dominan di bawah 0,25 s ditandai dengan warna biru yang dominan berada di bagian utara Kecamatan Tambak. Nilai periode dominan di atas 0,4 s ditandai dengan warna merah yang berada hampir di seluruh bagian selatan Kecamatan Tambak. Nilai periode di atas 0,4 s berdasarkan

klasifikasi tanah konversi Kanai & Tanaka dengan Omote-Nakajima mengindikasikan bahwa di daerah tersebut terdapat batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, lumpur, tanah lunak, humus, endapan delta atau endapan lumpur, yang tergolong ke dalam tanah lunak dengan kedalaman 30 m (Gunawan dan Subardjo, 2005; Pitilakis *et. al.*, 2004).



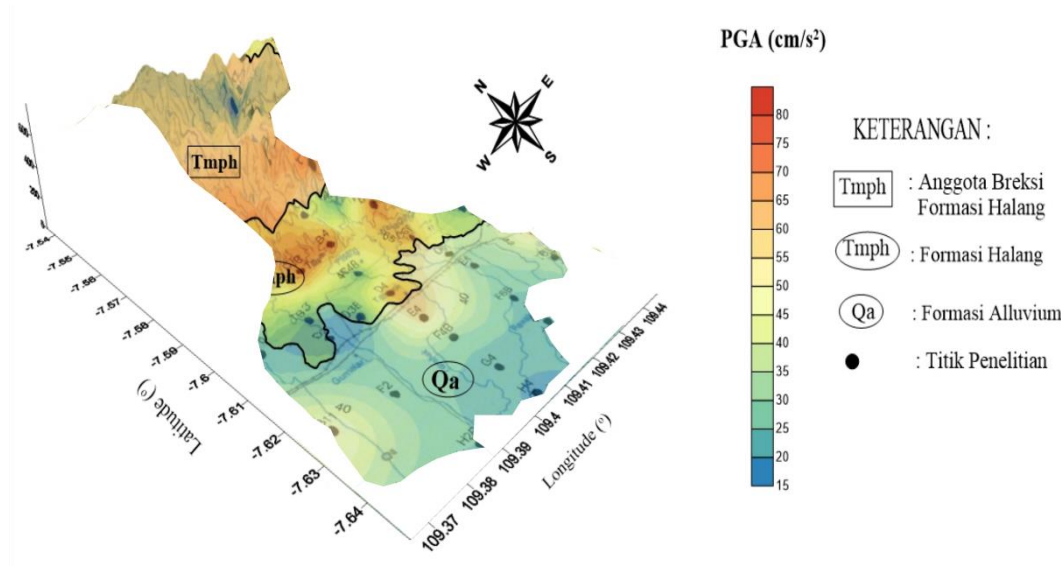
Gambar 16. Grafik nilai PGA di setiap titik penelitian dari 6 kejadian gempabumi.

Percepatan getaran tanah terjadi karena adanya perubahan kecepatan pada lapisan bawah permukaan akibat adanya gempabumi sehingga menyebabkan tanah yang pada awalnya diam menjadi bergerak dengan kecepatan tertentu. Semakin besar nilai PGA yang terjadi akan menyebabkan tanah mengalami pergerakan yang cepat ketika terjadi gempabumi. Data gempabumi yang digunakan yaitu gempabumi yang terjadi selama 8 tahun dan terasa sampai ke Kecamatan Tambak dari tahun 2009 – 2017. Berdasarkan grafik nilai PGA di setiap titik penelitian dari 6 kejadian gempabumi yang ditunjukkan Gambar 16 diperoleh nilai PGA tertinggi



untuk gempa Tasikmalaya 2 September 2009. Gempabumi tersebut bermagnitudo 7,3 dengan kedalaman 30 km yang berepisenter di 8,24°LS 107,32°BT.

Analisis percepatan getaran tanah menggunakan metode Kanai menghasilkan nilai PGA akibat gempabumi Tasikmalaya 2 September 2009 yang berkisar antara 14,21 – 79,72 cm/s<sup>2</sup> dan tersebar di 39 titik penelitian seperti pada peta pemodelan (mikrozonasi) PGA yang ditunjukkan Gambar 18. Berdasarkan intensitas gempabumi dalam skala MMI yang ditunjukkan Tabel 5, rentang nilai PGA tersebut masuk ke dalam skala IV dan V MMI. Dari mikrozonasi PGA (Gambar 17), diperoleh nilai PGA dengan klasifikasi rendah, sedang, dan tinggi. Nilai PGA rendah berada pada rentang nilai 15 – 40 cm/s<sup>2</sup> dan berada pada zona warna biru, nilai PGA sedang berada pada rentang 41 – 65 cm/s<sup>2</sup> dan berada pada zona warna kuning, sedangkan untuk nilai PGA tinggi berada pada rentang nilai 66 – 90 cm/s<sup>2</sup> dan berada pada zona merah.



Gambar 17. Mikrozonasi PGA di Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas

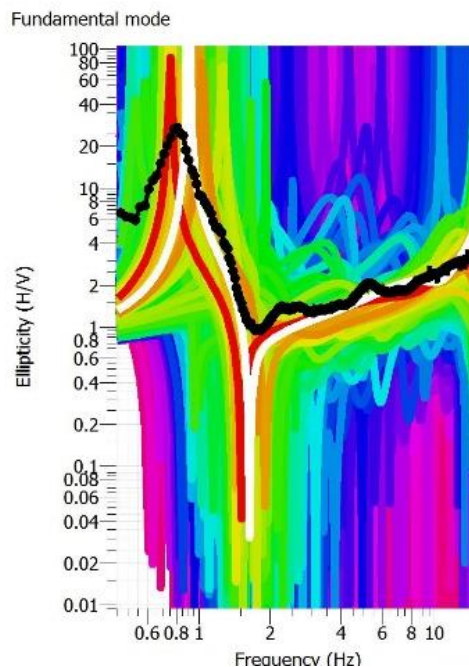
Nilai PGA rendah terdapat pada bagian selatan Kecamatan Tambak yang dipengaruhi oleh nilai periode dominan tinggi yaitu di atas 0,4 s yang ditunjukkan pada Gambar 15. Nilai PGA tinggi terdapat pada bagian utara Kecamatan Tambak yang berupa perbukitan. Hal tersebut dikarenakan daerah perbukitan terdiri dari batuan tersier atau lebih tua yang memiliki nilai periode dominan antara 0,05 – 0,15 s.

#### **B. Nilai Kecepatan Gelombang Geser Pada Kedalaman 30 meter ( $V_{s30}$ )**

Nilai kecepatan gelombang geser pada kedalaman 30 meter diperoleh dari inversi kurva H/V menggunakan metode *ellipticity curve*. Metode *ellipticity curve* merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengetahui struktur bawah permukaan (*ground profiles*) dengan kurva H/V hasil pengukuran mikrotremor sebagai input model awal. Metode ini sangat ditentukan oleh beberapa parameter yaitu kecepatan gelombang S, kecepatan gelombang P, Poisson *ratio*, dan massa jenis (densitas) batuan. Nilai parameter tersebut disesuaikan dengan kondisi pada formasi geologi di wilayah penelitian. Jumlah lapisan yang digunakan dalam pemodelan untuk titik penelitian yang berada pada Formasi Breksi dan Formasi Halang sebanyak 5 lapisan dengan kedalaman yang ditinjau 200 meter, sedangkan untuk titik penelitian yang berada pada Formasi Alluvium sebanyak 6 lapisan dengan kedalaman yang ditinjau 300 meter. Kurva dari metode *ellipticity curve* ditunjukkan pada Gambar 18.

Beberapa macam warna garis menunjukkan beberapa model kurva dengan nilai *misfit* yang beragam. Kurva dengan garis hitam menunjukkan kurva H/V sebagai model referensi untuk metode *ellipticity curve*, dan kurva dengan garis

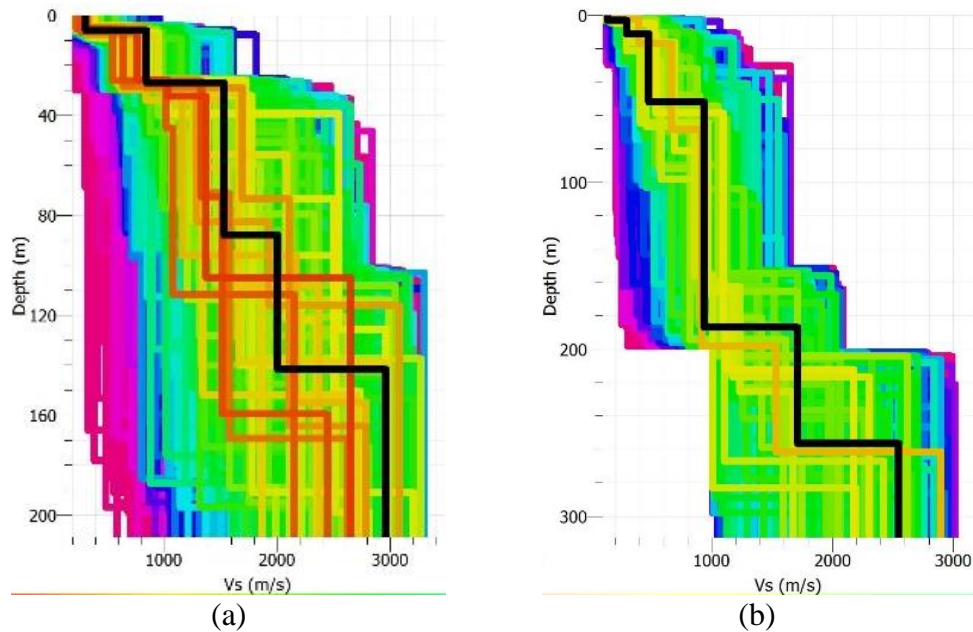
putih menunjukkan kurva hasil dari metode *ellipticity curve* dengan nilai *misfit* terkecil. Warna lainnya yang ditunjukkan oleh spektrum warna merah hingga ungu menunjukkan beberapa model dengan nilai *misfit* terkecil hingga terbesar. Kurva pada *ellipticity curve* merupakan kurva yang merepresentasikan data dari nilai frekuensi dan nilai eliptisitas gelombang *Rayleigh* yang kemudian bisa digunakan untuk analisis *ground profile*  $V_s$  dari titik pengukuran.



Gambar 18. Kurva dari metode *ellipticity curve* pada titik H2

Nilai  $V_s$  pada *ground profiles* memiliki nilai bervariasi untuk setiap lapisannya. *Ground profiles*  $V_s$  dihasilkan dengan membuat 5 hingga 6 lapisan. Penentuan banyaknya lapisan bergantung pada susunan litologi pada formasi geologi. Pada Gambar 19 ditunjukkan beberapa contoh *ground profiles*  $V_s$  hasil penelitian dengan jumlah lapisan yang berbeda pada setiap titik pengukuran yang berbeda. Profil kecepatan gelombang geser yang dihasilkan pada setiap lintasan menunjukkan

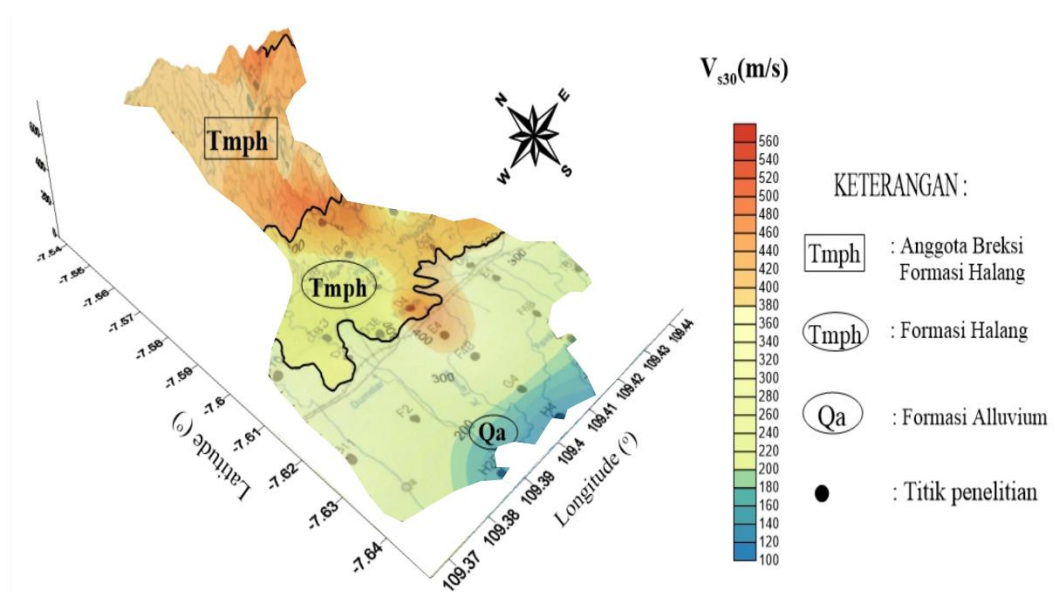
perbedaan jenis batuan atau material bawah permukaan. Batuan atau material yang bersifat lunak akan mempunyai nilai  $V_s$  yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan batuan keras berdasarkan Tabel 1.



Gambar 19. *Ground Profile  $V_s$  dengan variasi lapisan (a) ground profiles  $V_s$  5 lapisan pada titik T3 (b) ground profiles  $V_s$  6 lapisan pada titik F6*

Nilai  $V_s$  pada *ground profile* kemudian bisa digunakan untuk analisis  $V_{s30}$  menggunakan persamaan (22). Nilai  $V_{s30}$  yang dihasilkan berkisar antara 109,24 – 556,73 m/s. Sebaran nilai kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 meter ( $V_{s30}$ ) hasil inversi kurva H/V ditunjukkan pada Gambar 20. Pada peta mikrozonasi nilai  $V_{s30}$ , warna biru menunjukkan nilai  $V_{s30}$  rendah yaitu di bawah 180 m/s dan warna merah menunjukkan nilai  $V_{s30}$  tinggi yaitu di atas 360 m/s. Nilai terendah terdapat di sebagian Desa Plangkapan dan Desa Gebangsari yaitu 132,17 m/s dan 109,24 m/s yang berada di Kecamatan Tambak paling selatan. Berdasarkan klasifikasi jenis batuan nilai  $V_{s30}$  titik penelitian tersebut diklasifikasikan ke dalam

tipe batuan E yaitu tanah lunak. Nilai  $V_{s30}$  tinggi berkisar antara 360 – 556,73 m/s yang dominan berada di bagian utara Kecamatan Tambak yaitu Desa Watuagung, Desa Karangpetir, Desa Gumelem Wetan, Desa Jatiluhur, Desa Wagirpandan, Desa Banjarpanepen dan sebagian Desa Kamulyan. Daerah penelitian tersebut diklasifikasikan ke dalam tipe batuan C yaitu tanah keras dan batuan lunak. Nilai  $V_{s30}$  sedang berkisar 180 – 360 m/s terdapat di bagian tengah Kecamatan Tambak yaitu sebagian Desa Kamulyan, Desa Purwodadi, Desa Pesantren, Desa Karangpucung, Desa Gumelar Kidul, Desa Prembun, Desa Gumelar Lor, Desa Buniayu, Desa Bogangi, Desa Selanegara, Desa Selandaka, Desa Nusadadi, dan Desa Bumiagung. Daerah penelitian tersebut diklasifikasikan ke dalam tipe batuan D yaitu tanah sedang.

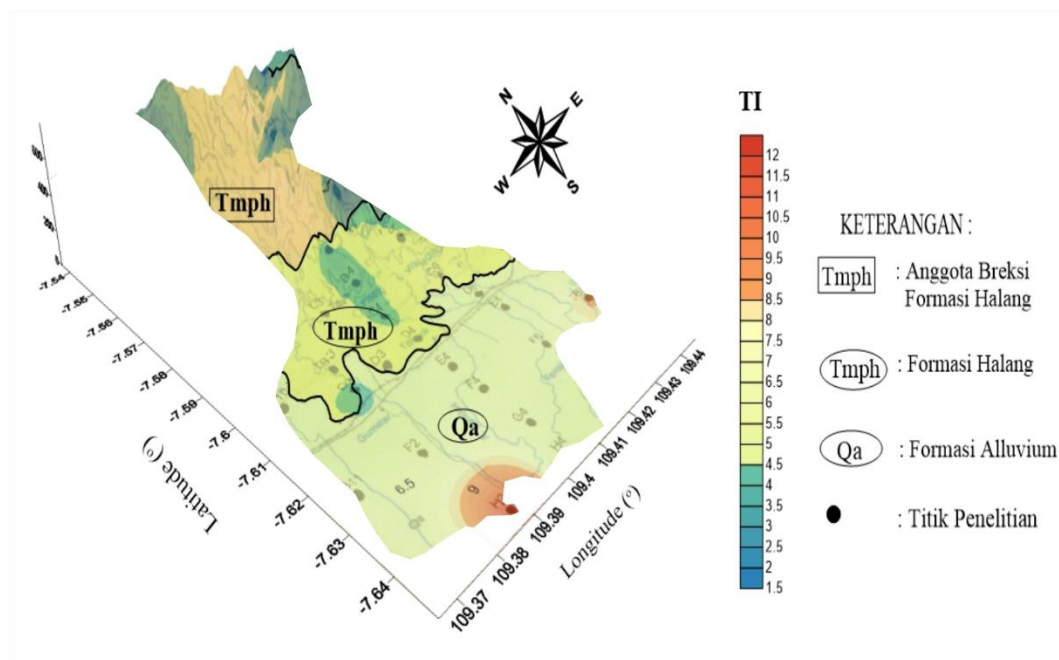


Gambar 20. Mikrozonasi nilai  $V_{s30}$  di Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas.

### C. Indeks Topografi (TI)

Nilai TI yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari laman NERC *Enviromental Information Data Centre* (Marthews *et al*, 2015). Data TI yang

diperoleh berupa lintang, bujur, dan nilai TI di seluruh dunia. Nilai TI yang digunakan disesuaikan dengan lintang dan bujur daerah penelitian. Berdasarkan data tersebut diperoleh nilai TI di Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas berkisar 2,20 – 12,00. Persebaran nilai TI ditunjukkan pada peta pemodelan (mikrozonasi) Gambar 21.



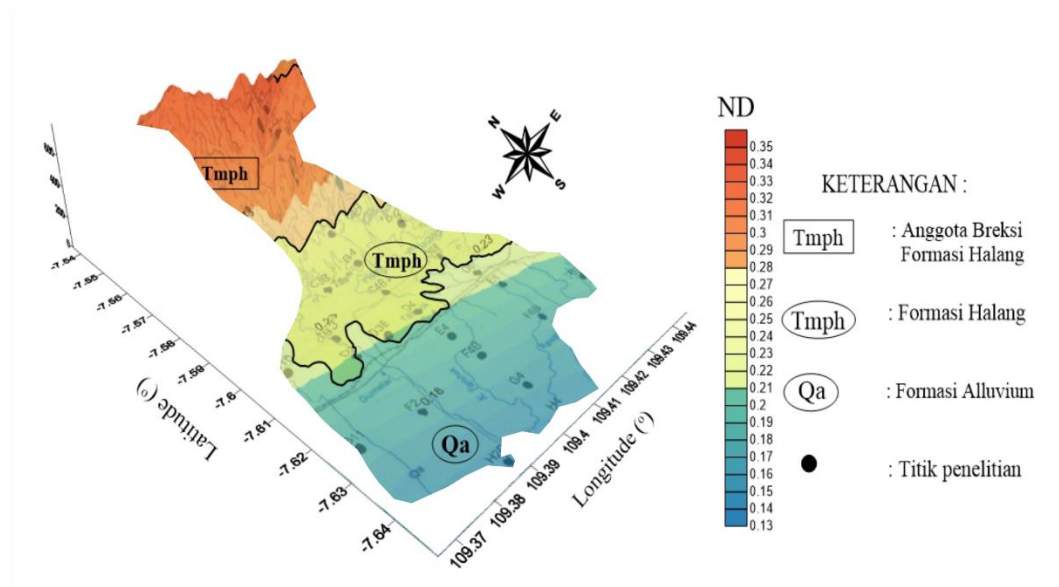
Gambar 21. Mikrozonasi nilai TI di Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas

Wilayah utara Kecamatan Tambak memiliki nilai TI 2,2 – 8 yang cenderung rendah dibandingkan dengan wilayah selatan yang berkisar 4 - 12. Hal ini disebabkan karena wilayah utara Kecamatan Tambak berupa perbukitan dengan lereng yang curam. Kemiringan lereng mempengaruhi nilai TI, semakin curam kemiringan lereng maka nilai TI semakin kecil dan sebaliknya nilai TI semakin besar pada lereng yang datar. Nilai TI yang tinggi juga menunjukkan tanah yang cenderung basah yaitu di wilayah selatan Kecamatan Tambak. Wilayah selatan

Kecamatan Tambak terdapat batuan alluvial yang tergolong ke dalam tanah lunak berdasarkan nilai periode dominan.

#### D. Nilai *Normalized Distance* (ND)

Nilai *Normalized Distance* (ND) pada penelitian ini ditentukan dengan persamaan (4). Nilai ND dipengaruhi oleh jarak pantai dan jarak gunung dengan titik penelitian. Jarak pantai yang digunakan adalah jarak pantai terdekat dengan titik penelitian, sedangkan untuk jarak gunung yang digunakan adalah jarak gunung terdekat dengan titik penelitian yaitu Gunung Slamet. Persebaran nilai ND ditunjukkan pada peta pemodelan (mikrozonasi) Gambar 22.



Gambar 22. Mikrozonasi nilai ND di Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas.

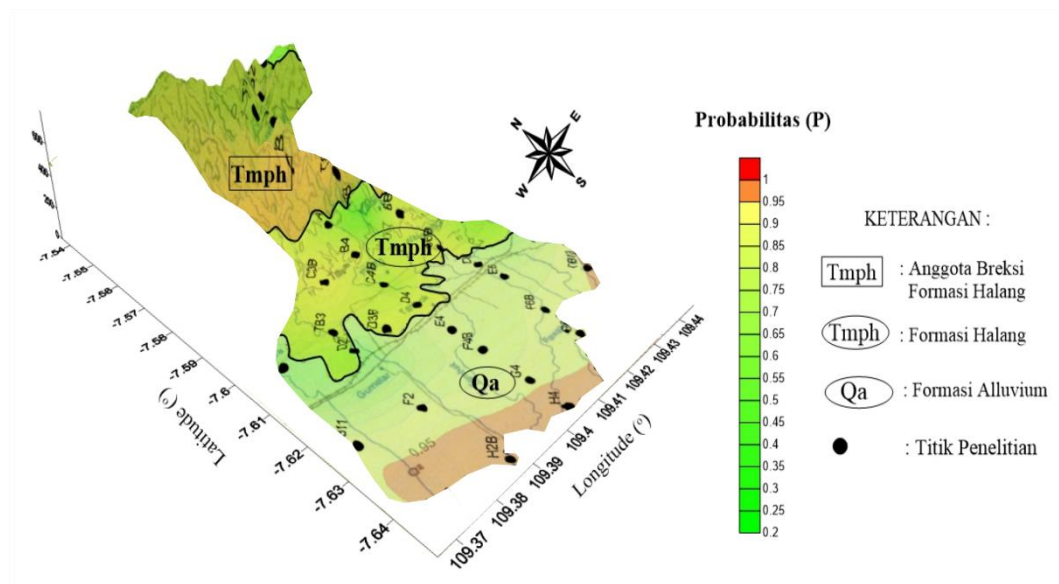
Pada peta mikrozonasi nilai ND, warna biru menunjukkan nilai ND rendah yaitu di bawah 0,20 dan warna merah menunjukkan nilai ND tinggi yaitu di atas 0,27. Nilai ND berkisar 0,21 – 0,27 ditunjukkan oleh warna kuning kehijauan. Wilayah selatan Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas memiliki nilai ND yang rendah dikarenakan jarak titik penelitian dekat dengan pantai dan jauh dari gunung,



begitupun sebaliknya dengan wilayah utara dimana jarak titik penelitian dengan pantai cukup jauh dan dekat dengan gunung.

#### E. Nilai Probabilitas ( $P$ )

Nilai probabilitas diperoleh dari persamaan (2) dengan parameter nilai  $X$ , dimana nilai  $X$  diperoleh dari persamaan (3) dengan parameter  $PGA$ ,  $V_{s30}$ ,  $TI$ , dan  $ND$ . Persamaan yang digunakan adalah persamaan logistik yang digunakan untuk memastikan bahwa nilai probabilitas yang dihasilkan terletak pada kisaran antara 0 – 1. Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan persamaan (2) nilai probabilitas di Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas berkisar 0,21 – 0,99. Persebaran nilai probabilitas dapat dilihat pada peta pemodelan (mikrozonasi) Gambar 23.



Gambar 23. Mikrozonasi nilai probabilitas di Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas.

Pada peta mikrozonasi nilai probabilitas, warna hijau menunjukkan nilai probabilitas rendah yaitu di bawah 0,65 dan warna merah menunjukkan nilai



probabilitas tinggi yaitu di atas 0,95. Wilayah selatan Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas memiliki nilai probabilitas tinggi yaitu berkisar antara 0,95 – 0,99. Nilai probabilitas tinggi menunjukkan bahwa wilayah selatan Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas dimungkinkan berpotensi likuifaksi apabila terjadi gempa bumi dengan intensitas tinggi di wilayah tersebut. Selain itu formasi batuan wilayah selatan mendukung syarat terjadinya likuifaksi yaitu Formasi Alluvium. Formasi Alluvium merupakan endapan kuarter yang terdiri dari lempung, lanau, pasir, kerikil dan kerakal. Jenis tanah tersebut memungkinkan untuk terjadi likuifaksi. Berdasarkan Gambar 24 dapat diketahui bahwa potensi likuifaksi ini terjadi di wilayah yang terdapat pemukiman warga. Hal tersebut beresiko menyebabkan kerusakan bangunan dan korban jiwa. Luas pemukiman yang berada pada zona potensi likuifaksi sebesar 0,9 %.



Gambar 24. Daerah yang terdampak potensi likuifaksi

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### A. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Nilai *peak ground acceleration* (PGA) di Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas berada pada kisaran  $14,21 - 79,72 \text{ cm/s}^2$ , nilai kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 meter ( $V_{s30}$ ) berada pada kisaran  $109,24 - 556,73 \text{ m/s}$ , dan nilai *normalized distance* (ND) berada pada kisaran  $0,13 - 0,35$ .
2. Berdasarkan metode *Global Geospatial Model* di Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas, potensi likuifaksi tinggi terjadi di bagian selatan Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas dengan nilai probabilitas berkisar pada  $0,95 - 0,99$ .

#### B. SARAN

Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya memperluas batasan penelitian yaitu dapat dilakukan dengan wilayah kecamatan yang lain dengan jarak antar titik penelitian lebih dekat agar mendapatkan hasil yang lebih akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, S. Mulyanto, B.S. Marjiyanto & Setyanegara, R. 2014. *Pemetaan Zona Rawan Benana Gempabumi Berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi HVSR Mikrotremor dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya*. Jurnal Geofisika Eksplorasi Vol 2/No.1.
- Asikin, S., Handoyo, A., Prastistho, B., & Gafoer, S. 1992. *Peta Geologi Lembar Banyumas, Jawa*. Peta Geologi Bersistem Jawa. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa dan Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: BSN, SNI 1726:2012.
- BMKG. 2018. Informasi Gempabumi. Yogyakarta. [https://www.instagram.com/p/BqnNB\\_cBTBx/?hl=id](https://www.instagram.com/p/BqnNB_cBTBx/?hl=id) diakses pada tanggal 19 Desember 2018
- BMKG. 2018. Informasi Gempabumi. Jakarta. <http://www.bmkg.go.id/press-release/?=gempabumi-tektunik-m7-7-kabupaten-donggala-sulawesi-tengah-pada-hari-jumat-28-september-2018-berpotensi-tsunami&tag=press-release&lang=ID> diakses pada tanggal 19 Desember 2018
- BPS (Badan Pusat Statistik) Banyumas. 2015. *Kepadatan Penduduk Kabupaten Banyumas Menurut Kecamatan Tahun 2014*. Banyumas. <https://banyumaskab.bps.go.id/statictable/2015/11/16/25/kepadatan-penduduk-kabupaten-banyumas-menurut-kecamatan-tahun-2014.html> diakses pada tanggal 11 Desember 2018
- Burger, H.R. 1992. *Exploration Geophysics of the Shallow Subsurface*. Englewood Cliff. NJ
- Chandra, O., Putra, A.I., & Nugroho, S.A. 2017, Oktober 30. *Potensi Likuifaksi Pada Tanah Timbunan Pasir Di Atas Tanah Gambut Dengan Variasi Berat Beban Melalui Uji Laboratorium*. Konferensi Nasional Teknik Sipil dan Infrastruktur-I. 35-44.
- Douglas, J. 2011. *Ground Motion Prediction Equations 1964-2010*. London: South Kensington Campus Press.

- Elnashai, Amr S. & Sarno, Laugi D. 2008. *Fundamentals of Earthquake Engineering*. UK: John Wiley & Son.
- Febriani, Y., Daruwati, I., & Hatika, R. G. (2013). *Analisis Nilai Peak Ground Acceleration dan Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Data Mikroseismik Pada Daerah Rawan Gempabumi di Kota Bengkulu*. Jurnal Ilmiah Researc Vol.2 No.2 Desember 2013, 85.
- Gunawan, I & Subardjo. 2005. *Pengetahuan Seismologi*. Jakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika.
- Ikhsan, R. 2011. *Analisis Potensi Likuifaksi dari Data CPT dan SPT dengan Studi Kasus PLTU Ende Nusa Tenggara Timur*. Skripsi.Ul.
- Kanai, K. 1983. *Seismology and Engineering*. Tokyo University: Japan.
- Kayal, J. R. 2008. *Microearthquake Seismology and Seismotectonics of South Asia*. New York: Springer.
- Kirbani. 2012. *Mitigasi Bencana Gempabumi*. Yogyakarta. UGM.
- Lantu, Aswad, S., & Marjiyono. 2018. *Pemetaan Wilayah Rawan Bencana Gempabumi Berdasarkan Data Mikrotremor dan Data Bor*. Journal Gecelebes Vol. 2 No. 1, 20-30.
- Lohonauman, R.R, Noor, D., & Kadarisman, D.S. 2016. *Geologi dan Studi Endapan Turbidit Formasi Halang Daerah Watuagung dan Sekitarnya Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas Jawa Tengah*. Artikel. UNPAK.
- Lowrie, W. 2007. *Fundamentals of Geophysics*. New York: Cambridge University Press.
- Manzella, A. 1990. *Geophysical Methods in Geothermal Exploration*. Pisa, Italy: Italian National Research Council International Institute for Geothermal Research.
- Marthews, T.R, Dadson, S.J, Lehner, B., Abele, S., Gedney, N. 2015. *High-resolution global topographic index values*. NERC Environmental Information Data Center <https://catalogue.ceh.ac.uk/documents/6b0c4358-2bf3-4924-aa8f-793d468b92be> diakses pada tanggal 25 Maret 2019

- Mirzaoglu, M., & Dykmen, U. 2003. *Application of microtremors to seismic microzoning procedure*. Journal Of The Balkan Geophysical Society, Vol. 6, No. 3.
- Muntohar, A.S. 2010. *Mikrozonasi Potensi Likuifaksi dan Penurunan Tanah Akibat Gempa Bumi*. Penelitian Dosen. 2010.
- Nakamura, Y. 1989. *A Method of Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface*. Japan: Quarterly Report of Railway Technology Research Institute (RTRI). Vol. 3. No.1.
- Nakamura, Y. 2000. *Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and Its Applications*. Japan: System and Data Research.
- Nucifera, F., & Putro, S. T. 2017. *Deteksi Kerawanan Banjir Genangan Menggunakan Topographic Wetness Index*. Media Komunikasi Geografi, 107-116.
- Nurrahmi, Effendi, R., Sandra. 2015. *Analisis Kecepatan Gelombang Geser Vs30 Menggunakan Metode Refraksi Mikrotremor (ReMi) di Kelurahan Talise*. Gravitasi Vol. 14 No. 1, 7-12.
- Ostrander, W.J. 1984. *Plane Wave Reflection Coefficients for Gas Sands at Nonnormal Angles of Incidence*. Geophysics, 49, 1637-1648.
- Pakpahan, S., Ngadmanto, D., Masturyono. (2015). *Analisis Kegempaan di Zona Sesar Palu Koro, Sulawesi Tengah*. Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi, Vol. 6 No. 3, 253-264.
- Patimah, S. 2017. *Analisis Litologi Bawah Permukaan Berdasarkan Ground Profiles Kecepatan Gelombang Geser dengan Metode Ellipticity Curve di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten*. Skripsi. UNY.
- Prawirodikromo, W. 2012. *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*. Pustaka Pelajar. Yogyakarta.
- Pitilakis, K. Gazepis. Anastasiadis, A. 2004. *Design Signal Processing, Computer Musically Speaking*. Singapore. World Scientific Publishing.

- Putra, A. T. (2013). *Pemetaan Kerentanan Daerah Potensi Likuifaksi, Akibat Gempa Bumi Tektonik Studi Kasus Daerah Panjangrejo dan Sekitarnya Kecamatan Pundong Kabupaten Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta*. Skripsi. UNDIP.
- Shetty, S.D. 2012. *Geospatial Liquefaction Hazard Model for Tokyo Bay, Japan*. Tufts University.
- SESAME. 2004. *Guidelines For The Implementation Of The H/V Spectral Ratio Techique on Ambient Vibrations*. Europe: SESAME European Research Project.
- Sulistiyani. (2012). *Kajian Terhadap Indeks Bahaya Seismik Di Pulau Jawa Dari Tahun 1900-2006*. Skripsi. UNS.
- Sunarjo, Gunawan, M.T., & Pribadi, S. (2012). *Gempabumi Edisi Populer*. Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Susilawati. 2008. *Penerapan Penjalaran Gelombang Seismik Pada Penelaahan Struktur Bagian Dalam Bumi*. Skripsi. USU.
- Telford, W.M. Geldart, L. P. Sheriff, R. E. 1990. *Applied Geophysics Second Edition*. New York: Cambridge University Press.
- Tohari, A. Sugianti, K. Syahbana, A.J. 2015. *Kerentanan Likuifaksi Wilayah Kota Banda Aceh Berdasarkan Metode Uji Penetrasi Konus*. Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI.
- Widyaningrum, R. (2012). *Penyelidikan Geologi Teknik Potensi Likuifaksi Daerah Palu, Provinsi Sulawesi Tengah*. Bandung: Kementrian Energi dan Sumber Daya Alam.
- Yulistiani. 2017. *Potensi Likuifaksi Berdasarkan Nilai Ground Shear Strain (GSS) di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten Jawa Tengah*. Skripsi. UNY
- Zhu, J., Baise, L.B., Thompson, E.M, Magistrale, H. 2014. *Testing National and Regional Geospatial Liquefaction Models in The United States*. Proceedings of the 10<sup>th</sup> National Conference in Earthquake Engineering, Earthquake Engineering Research Institute. Anchorage, Alaska.

Zhu, J., Baise, L.B., Thompson, E.M. 2017. *An Updated Geospatial Liquefaction Model for Global Application*. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol .107, No. 3.

## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Data Hasil Penelitian

Titik	Koordinat		$f_0$ (Hz)	$A_0$	$T_g$ (s)
	Bujur (°)	Lintang (°)			
A3	109,4049	-7,58349	7,61	9,92	0,13
A4	109,4134	-7,58406	0,49	4,09	2,04
B4	109,4045	-7,59218	14,98	25,46	0,07
B5	109,4212	-7,5896	14,96	3,64	0,07
C3	109,3947	-7,59297	14,98	5,63	0,07
C4	109,4037	-7,60149	1,07	5,55	0,93
C6	109,422	-7,6014	11,01	8,84	0,09
D2	109,3863	-7,61035	0,61	7,02	1,64
D3	109,3951	-7,6105	0,71	6,17	1,41
D4	109,4045	-7,61003	11,79	7,05	0,08
D6	109,4243	-7,61011	4,2	8,41	0,24
E4	109,4046	-7,61923	8,66	6,59	0,12
E6	109,4254	-7,61632	2,17	7,2	0,46
F2	109,3855	-7,62821	1,78	9,26	0,56
F4	109,4047	-7,62684	1,98	14,77	0,51
F6	109,4227	-7,62867	1,39	20,43	0,72
G4	109,4048	-7,63779	1,15	11,14	0,87
G6	109,4218	-7,6376	1,32	15	0,76
H2	109,3876	-7,64618	1,42	12,82	0,70
H4	109,4045	-7,64656	0,83	27,38	1,20
T3	109,4146	-7,54725	0,59	13,62	1,69
T5	109,4129	-7,55623	4,17	6,18	0,24
T6	109,4098	-7,56511	9,47	6,73	0,11
T7	109,4055	-7,57536	7,27	12,04	0,14
T8	109,4144	-7,57608	12,03	22,76	0,08
TB1	109,4263	-7,53639	7,98	9,56	0,13
TB2	109,4203	-7,5422	6,08	17,52	0,16
TB3	109,387	-7,60366	0,81	5,67	1,23
TB4	109,4383	-7,60283	1,24	4,86	0,81
TB5	109,4252	-7,56036	3,64	7,9	0,27
TB6	109,427	-7,58381	8,1	7,41	0,12
TB7	109,4359	-7,59464	1,17	4,68	0,85
TB8	109,3798	-7,55296	3,15	19,7	0,32
TB9	109,3657	-7,57151	12,47	15,02	0,08
TB10	109,3739	-7,60412	0,93	4,89	1,08
TB11	109,3716	-7,62622	6,56	7,91	0,15
TB12	109,3751	-7,6492	0,9	13,68	1,11
TB13	109,4401	-7,62761	2,86	17,91	0,35
TB14	109,4463	-7,619	11,79	6,48	0,08



**Lampiran 2. Uji Kriteria *Reliable* dan *Clear Peak* SESAME European Research Project**

Titik Data	$f_0$ (Hz)	$A_0$	$n_w$	Kriteria <i>Reliable</i>			Kriteria <i>Clear Peak</i>					
				i	ii	iii	i	ii	iii	iv	v	vi
A3	7,61	9,92	10	v	v	x	x	v	v	x	v	x
A4	0,49	4,09	10	v	x	v	x	x	v	x	x	v
B4	14,98	25,46	10	v	v	x	v	v	v	x	v	x
B5	14,96	3,64	10	v	v	v	x	v	v	x	v	v
C3	14,98	5,63	10	v	v	v	x	v	v	x	v	v
C4	1,07	5,55	10	v	v	v	x	x	v	x	x	v
C6	11,01	8,84	10	v	v	x	x	x	v	x	v	x
D2	0,61	7,02	10	v	x	v	x	v	v	x	x	v
D3	0,71	6,17	10	v	x	v	x	v	v	x	x	v
D4	11,79	7,05	10	v	v	v	x	x	v	x	v	v
D6	4,2	8,41	10	v	v	v	x	v	v	x	x	x
E4	8,66	6,59	10	v	v	v	x	x	v	x	v	v
E6	2,17	7,2	10	v	v	v	x	x	v	x	x	v
F2	1,78	9,26	10	v	v	v	x	v	v	x	x	x
F4	1,98	14,77	10	v	v	x	x	v	v	x	x	x
F6	1,39	20,43	10	v	v	x	v	v	v	x	x	x
G4	1,15	11,14	10	v	v	x	x	v	v	x	x	x
G6	1,32	15	10	v	v	x	x	v	v	x	x	x
H2	1,42	12,82	10	v	v	x	x	v	v	x	x	x
H4	0,83	27,38	10	v	v	x	x	v	v	x	x	x
T3	0,59	13,62	10	v	x	v	x	v	v	x	x	v
T5	4,17	6,18	10	v	v	v	x	x	v	x	x	v
T6	9,47	6,73	10	v	v	v	x	x	v	x	v	v
T7	7,27	12,04	10	v	v	x	v	v	v	x	v	x
T8	12,03	22,76	10	v	v	x	v	x	v	x	v	x
TB1	7,98	9,56	10	v	v	x	x	v	v	x	v	x
TB2	6,08	17,52	10	v	v	x	v	v	v	x	v	x
TB3	0,81	5,76	10	v	v	v	x	x	v	x	v	v
TB4	1,24	4,86	10	v	v	v	x	v	v	x	x	v
TB5	3,64	7,9	10	v	v	v	x	x	v	x	x	v
TB6	8,1	7,41	10	v	v	v	x	v	v	x	v	x
TB7	1,17	4,68	10	v	v	v	x	x	v	x	x	v
TB8	3,15	19,7	10	v	v	x	v	v	v	x	x	x
TB9	12,47	15,02	10	v	v	x	v	x	v	x	v	x
TB10	0,93	4,89	10	v	v	v	x	x	v	x	x	v
TB11	6,56	7,91	10	v	v	v	x	x	v	x	v	x
TB12	0,9	13,68	10	v	v	x	x	v	v	x	x	x
TB13	2,86	17,91	10	v	v	x	v	v	v	x	x	x
TB14	11,79	6,48	10	v	v	v	x	x	v	x	v	v

Keterangan syarat:

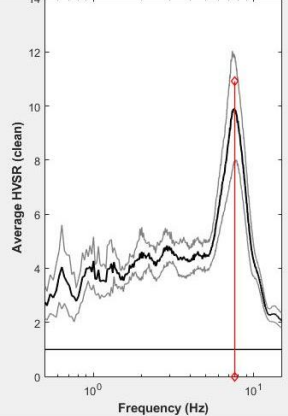
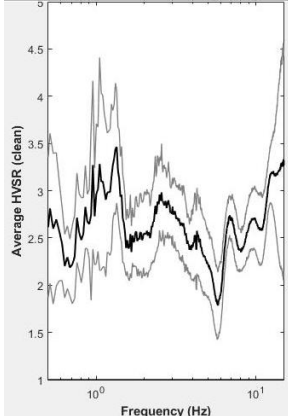
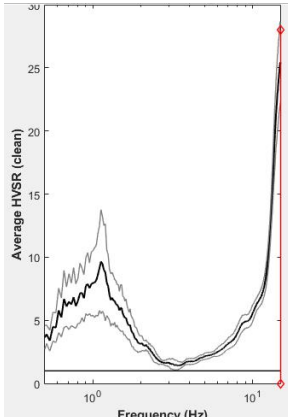
Tanda (v) menandakan syarat terpenuhi.

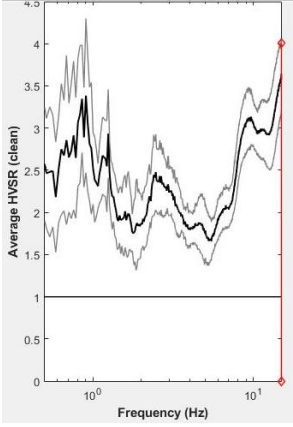
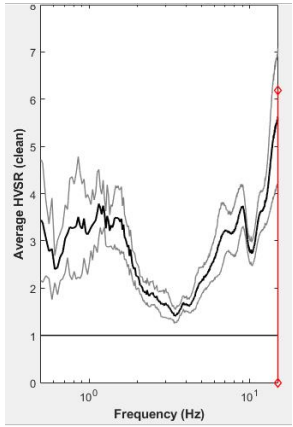
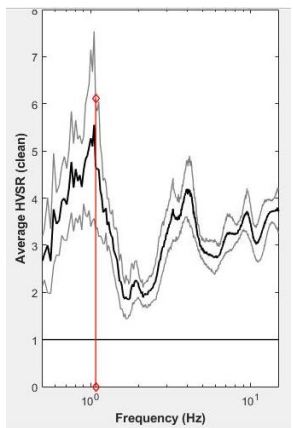
Tanda (x) menandakan syarat tidak terpenuhi.

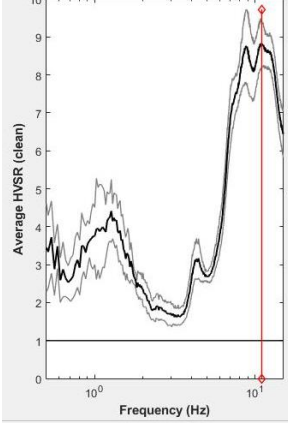
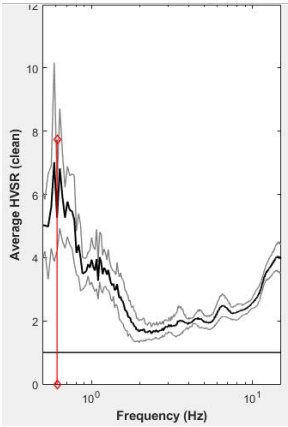
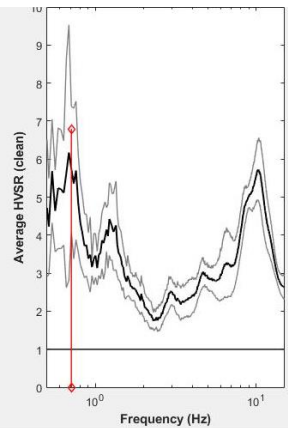
No	Kriteria untuk Kurva HVSR yang <i>Reliable</i>
i	$f_0 > \frac{10}{l_w}$
ii	$n_c(f_0) > 200$
iii	$\sigma A(f) < 2$ for $0,5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0,5\text{Hz}$ Or $\sigma A(f) < 3$ for $0,5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0,5\text{Hz}$

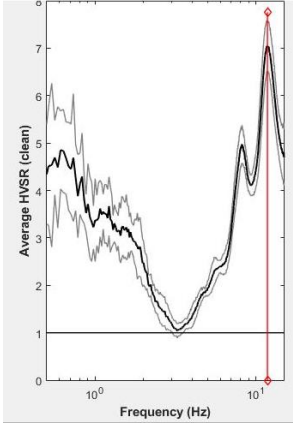
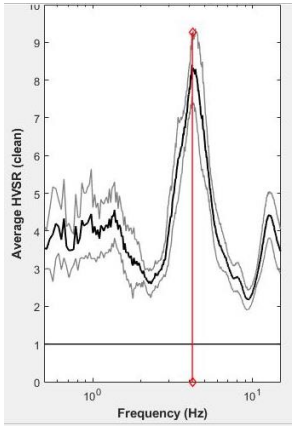
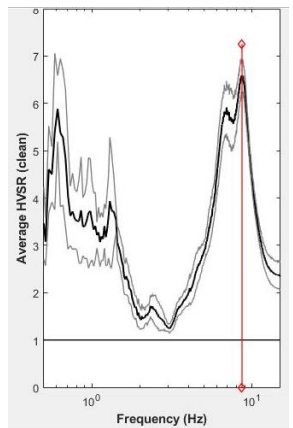
No	Kriteria untuk Kurva HVSR yang <i>Clear Peak</i>
I	$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
ii	$\exists f^+ \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
iii	$A_0 > 2$
iv	$f_{peak} \left[ A_{\frac{H}{V}}(f) \pm \sigma A(f) \right] = f_0 \pm 5\%$
v	$\sigma f < \varepsilon(f_0)$
vi	$\sigma A(f_0) < \theta(f_0)$

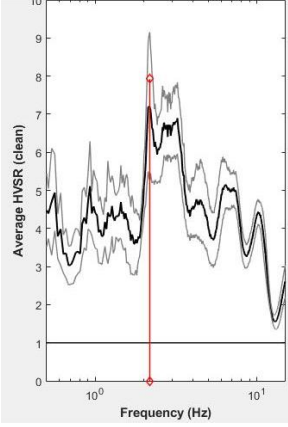
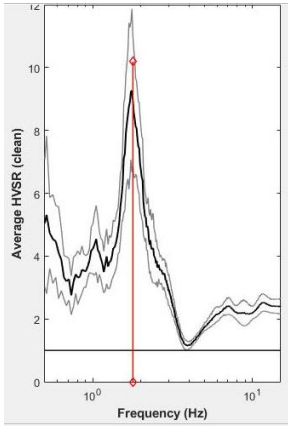
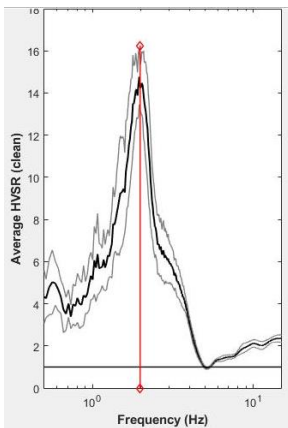
### Lampiran 3. Kurva H/V pada 39 Titik Pengamatan

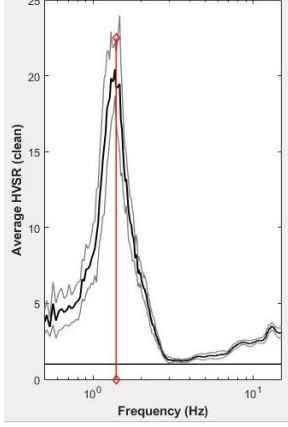
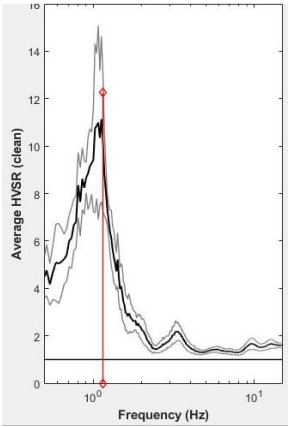
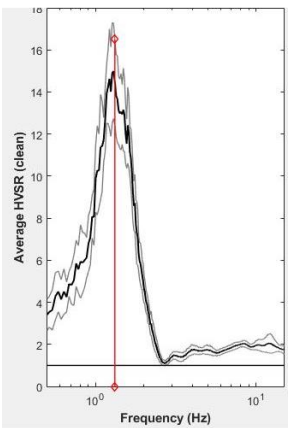
Titik	Kurva HVSR	Kriteria
A3		$f_0 = 7,61$ $A = 9,92$ Kriteria <i>Reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Terpenuhi <math>7,61 &gt; 0,4</math></li> <li>Terpenuhi <math>1902,5 &gt; 200</math></li> <li>Tidak Terpenuhi <math>2,436763 &gt; 2</math></li> </ol> Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Tidak Terpenuhi <math>5,591563 &gt; 4,96</math></li> <li>Terpenuhi <math>4,141492 &lt; 4,96</math></li> <li>Terpenuhi <math>9,92 &gt; 2</math></li> <li>Tidak Terpenuhi</li> <li>Terpenuhi <math>0,28873 &lt; 0,3805</math></li> <li>Tidak Terpenuhi <math>2,436763 &gt; 1,58</math></li> </ol>
A4		$f_0 = 0,49$ $A = 4,09$ Kriteria <i>Reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Terpenuhi <math>0,49 &gt; 0,4</math></li> <li>Tidak Terpenuhi <math>122,5 &gt; 200</math></li> <li>Terpenuhi <math>0,401328 &lt; 3</math></li> </ol> Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Tidak Terpenuhi <math>3,258166 &gt; 2,045</math></li> <li>Tidak Terpenuhi <math>2,721867 &gt; 2,045</math></li> <li>Terpenuhi <math>4,09 &gt; 2</math></li> <li>Tidak Terpenuhi</li> <li>Tidak Terpenuhi <math>0,154814 &gt; 0,098</math></li> <li>Terpenuhi <math>0,401328 &lt; 2,5</math></li> </ol>
B4		$f_0 = 14,98$ $A = 25,46$ Kriteria <i>Reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Terpenuhi <math>14,98 &gt; 0,4</math></li> <li>Terpenuhi <math>3745 &gt; 200</math></li> <li>Tidak Terpenuhi <math>6,751051 &gt; 2</math></li> </ol> Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Terpenuhi <math>7,513111 &lt; 12,73</math></li> <li>Terpenuhi <math>0,143 &lt; 12,73</math></li> <li>Terpenuhi <math>25,46 &gt; 2</math></li> <li>Tidak Terpenuhi</li> <li>Terpenuhi <math>0,281684 &lt; 0,749</math></li> <li>Tidak Terpenuhi <math>6,751051 &gt; 1,58</math></li> </ol>

Titik	Kurva HVSr	Kriteria
B5		$f_0 = 14,96$ $A = 3,64$ Kriteria <i>Reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Terpenuhi <math>14,96 &gt; 0,4</math></li> <li>Terpenuhi <math>3740 &gt; 200</math></li> <li>Terpenuhi <math>0,260764 &lt; 2</math></li> </ol> Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Tidak Terpenuhi <math>2,65107 &gt; 1,82</math></li> <li>Terpenuhi <math>0,106 &lt; 1,82</math></li> <li>Terpenuhi <math>3,64 &gt; 2</math></li> <li>Tidak Terpenuhi</li> <li>Terpenuhi <math>0,281684 &lt; 0,748</math></li> <li>Terpenuhi <math>0,260765 &lt; 1,58</math></li> </ol>
C3		$f_0 = 14,98$ $A = 5,63$ Kriteria <i>Reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Terpenuhi <math>14,98 &gt; 0,4</math></li> <li>Terpenuhi <math>3745 &gt; 200</math></li> <li>Terpenuhi <math>0,823938 &lt; 2</math></li> </ol> Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Tidak Terpenuhi <math>3,353029 &gt; 2,185</math></li> <li>Terpenuhi <math>0,189 &lt; 2,185</math></li> <li>Terpenuhi <math>5,63 &gt; 2</math></li> <li>Tidak Terpenuhi</li> <li>Terpenuhi <math>0,281684 &lt; 0,749</math></li> <li>Terpenuhi <math>0,823938 &lt; 1,58</math></li> </ol>
C4		$f_0 = 1,07$ $A = 5,55$ Kriteria <i>Reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Terpenuhi <math>1,07 &gt; 0,4</math></li> <li>Terpenuhi <math>267,5 &gt; 200</math></li> <li>Terpenuhi <math>1,115769 &lt; 2</math></li> </ol> Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Tidak Terpenuhi <math>4,148372 &gt; 2,775</math></li> <li>Tidak Terpenuhi <math>3,052354 &gt; 2,775</math></li> <li>Terpenuhi <math>5,55 &gt; 2</math></li> <li>Tidak Terpenuhi</li> <li>Tidak Terpenuhi <math>0,28873 &gt; 0,107</math></li> <li>Terpenuhi <math>1,115769 &lt; 1,78</math></li> </ol>

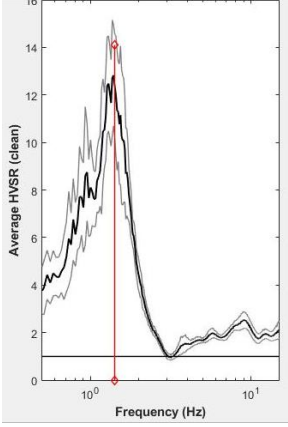
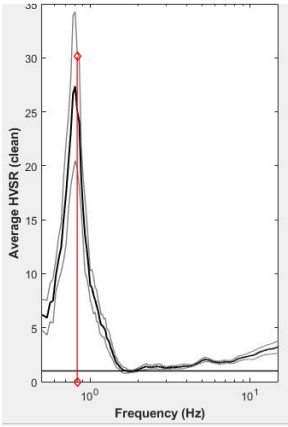
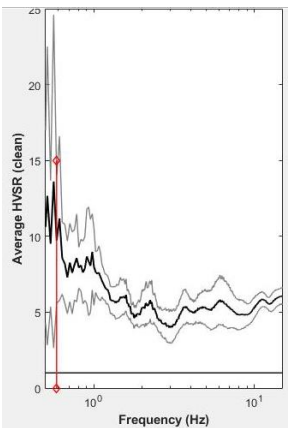
Titik	Kurva HVSr	Kriteria
C6		$f_0 = 11,01$ $A = 8,84$ Kriteria <i>Reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Terpenuhi <math>11,01 &gt; 0,4</math></li> <li>Terpenuhi <math>2752,5 &gt; 200</math></li> <li>Tidak Terpenuhi <math>2,663181 &gt; 2</math></li> </ol> Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Tidak Terpenuhi <math>5,595007 &gt; 4,42</math></li> <li>Tidak Terpenuhi <math>7,9218707 &gt; 4,42</math></li> <li>Terpenuhi <math>8,84 &gt; 2</math></li> <li>Tidak Terpenuhi</li> <li>Terpenuhi <math>0,28873 &lt; 0,5505</math></li> <li>Tidak Terpenuhi <math>2,663181 &gt; 1,58</math></li> </ol>
D2		$f_0 = 0,61$ $A = 7,02$ Kriteria <i>Reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Terpenuhi <math>0,61 &gt; 0,4</math></li> <li>Tidak Terpenuhi <math>152,5 &lt; 200</math></li> <li>Terpenuhi <math>1,009494 &lt; 3</math></li> </ol> Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Tidak Terpenuhi <math>5,477557 &gt; 3,51</math></li> <li>Terpenuhi <math>2,930335 &lt; 3,51</math></li> <li>Terpenuhi <math>7,02 &gt; 2</math></li> <li>Tidak Terpenuhi</li> <li>Tidak Terpenuhi <math>0,15481 &gt; 0,0915</math></li> <li>Terpenuhi <math>1,009494 &lt; 2</math></li> </ol>
D3		$f_0 = 0,71$ $A = 6,17$ Kriteria <i>Reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Terpenuhi <math>0,71 &gt; 0,4</math></li> <li>Tidak Terpenuhi <math>177,5 &lt; 200</math></li> <li>Terpenuhi <math>0,805183 &lt; 2</math></li> </ol> Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Tidak Terpenuhi <math>5,188545 &gt; 3,085</math></li> <li>Terpenuhi <math>2,823155 &lt; 3,085</math></li> <li>Terpenuhi <math>6,17 &gt; 2</math></li> <li>Tidak Terpenuhi</li> <li>Tidak Terpenuhi <math>0,15814 &gt; 0,1065</math></li> <li>Terpenuhi <math>0,805183 &lt; 2</math></li> </ol>

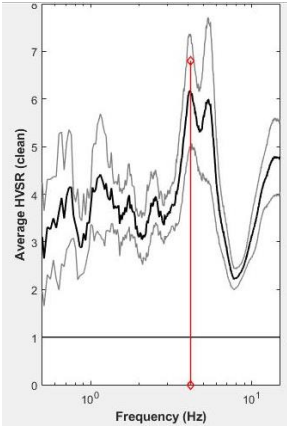
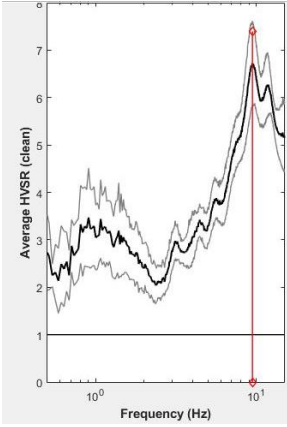
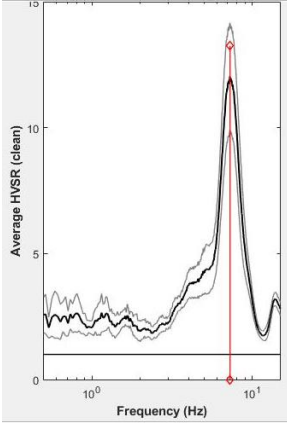
Titik	Kurva HVSR	Kriteria
D4		$f_0 = 11,79$ $A = 7,05$ Kriteria <i>Reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Terpenuhi <math>11,79 &gt; 0,4</math></li> <li>Terpenuhi <math>2947,5 &gt; 200</math></li> <li>Terpenuhi <math>1,288803 &lt; 2</math></li> </ol> Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Tidak Terpenuhi <math>3,533 &gt; 3,525</math></li> <li>Tidak Terpenuhi <math>5,759 &gt; 3,525</math></li> <li>Terpenuhi <math>7,05 &gt; 2</math></li> <li>Tidak Terpenuhi</li> <li>Terpenuhi <math>0,28873 &lt; 0,589</math></li> <li>Terpenuhi <math>1,288803 &lt; 1,58</math></li> </ol>
D6		$f_0 = 4,2$ $A = 8,41$ Kriteria <i>Reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Terpenuhi <math>4,2 &gt; 0,4</math></li> <li>Terpenuhi <math>1050 &gt; 200</math></li> <li>Terpenuhi <math>1,849226 &lt; 2</math></li> </ol> Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Tidak Terpenuhi <math>4,481 &gt; 4,205</math></li> <li>Terpenuhi <math>3,749 &lt; 4,205</math></li> <li>Terpenuhi <math>8,41 &gt; 2</math></li> <li>Tidak Terpenuhi</li> <li>Tidak Terpenuhi <math>0,28873 &gt; 0,21</math></li> <li>Tidak Terpenuhi <math>1,849226 &gt; 1,58</math></li> </ol>
E4		$f_0 = 8,66$ $A = 6,59$ Kriteria <i>Reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Terpenuhi <math>8,66 &gt; 0,4</math></li> <li>Terpenuhi <math>2165 &gt; 200</math></li> <li>Terpenuhi <math>1,546829 &lt; 2</math></li> </ol> Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Tidak Terpenuhi <math>3,700 &gt; 3,295</math></li> <li>Tidak Terpenuhi <math>3,433 &gt; 3,295</math></li> <li>Terpenuhi <math>6,59 &gt; 2</math></li> <li>Tidak Terpenuhi</li> <li>Terpenuhi <math>0,28873 &lt; 0,433</math></li> <li>Terpenuhi <math>1,546829 &lt; 1,58</math></li> </ol>

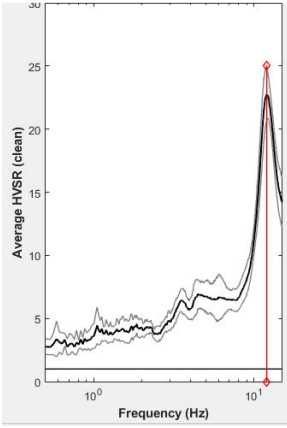
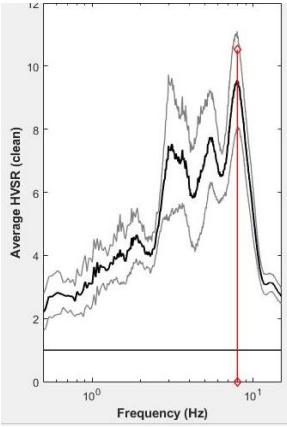
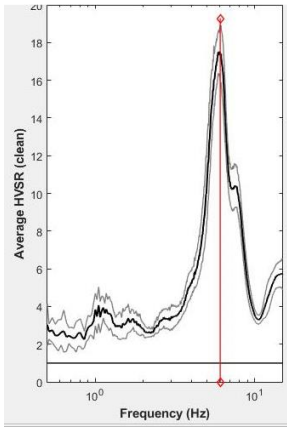
Titik	Kurva HVSr	Kriteria
E6		$f_0 = 2,17$ $A = 7,2$ Kriteria <i>Reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Terpenuhi <math>2,17 &gt; 0,4</math></li> <li>Terpenuhi <math>542,5 &gt; 200</math></li> <li>Terpenuhi <math>1,114234 &lt; 2</math></li> </ol> Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Tidak Terpenuhi <math>4,277635 &gt; 3,6</math></li> <li>Tidak Terpenuhi <math>4,851821 &gt; 3,6</math></li> <li>Terpenuhi <math>7,2 &gt; 2</math></li> <li>Tidak Terpenuhi</li> <li>Tidak Terpenuhi <math>0,28873 &gt; 0,1085</math></li> <li>Terpenuhi <math>1,114234 &lt; 1,58</math></li> </ol>
F2		$f_0 = 1,78$ $A = 9,26$ Kriteria <i>Reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Terpenuhi <math>1,78 &gt; 0,4</math></li> <li>Terpenuhi <math>445 &gt; 200</math></li> <li>Terpenuhi <math>1,998542 &lt; 2</math></li> </ol> Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Tidak Terpenuhi <math>4,857758 &gt; 4,63</math></li> <li>Terpenuhi <math>2,547647 &lt; 4,63</math></li> <li>Terpenuhi <math>9,26 &gt; 2</math></li> <li>Tidak Terpenuhi</li> <li>Tidak Terpenuhi <math>0,28873 &gt; 0,178</math></li> <li>Tidak Terpenuhi <math>1,998542 &gt; 1,78</math></li> </ol>
F4		$f_0 = 1,98$ $A = 14,77$ Kriteria <i>Reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Terpenuhi <math>1,98 &gt; 0,4</math></li> <li>Terpenuhi <math>495 &gt; 200</math></li> <li>Tidak Terpenuhi <math>3,2398 &gt; 2</math></li> </ol> Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Tidak Terpenuhi <math>7,755406 &gt; 7,385</math></li> <li>Terpenuhi <math>3,24883 &lt; 7,385</math></li> <li>Terpenuhi <math>14,77 &gt; 2</math></li> <li>Tidak Terpenuhi</li> <li>Tidak Terpenuhi <math>0,28873 &gt; 0,198</math></li> <li>Tidak Terpenuhi <math>3,2398 &gt; 1,78</math></li> </ol>

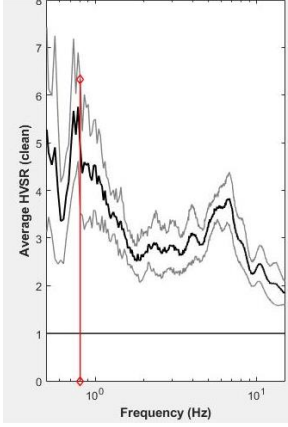
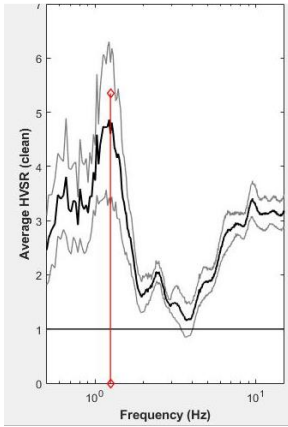
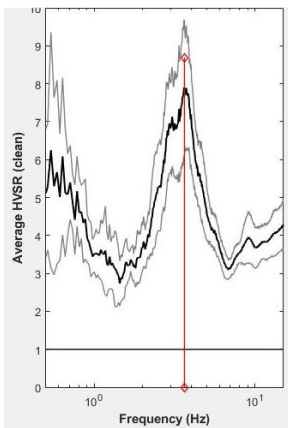
Titik	Kurva HVSR	Kriteria
F6		$f_0 = 1,39$ $A = 20,43$ Kriteria <i>Reliable</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>1,39 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>347,5 &gt; 200</math></li> <li>iii. Tidak Terpenuhi <math>5,552 &gt; 2</math></li> </ul> Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>9,396073 &lt; 10,215</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>3,389687 &lt; 10,215</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>20,43 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Tidak Terpenuhi <math>0,28873 &gt; 0,139</math></li> <li>vi. Tidak Terpenuhi <math>5,552 &gt; 1,78</math></li> </ul>
G4		$f_0 = 1,15$ $A = 11,14$ Kriteria <i>Reliable</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>1,15 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>287,5 &gt; 200</math></li> <li>iii. Tidak Terpenuhi <math>2,89456 &gt; 2</math></li> </ul> Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Tidak Terpenuhi <math>7,529144 &gt; 5,57</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>2,268375 &lt; 5,57</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>11,14 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Tidak Terpenuhi <math>0,28873 &gt; 0,115</math></li> <li>vi. Tidak Terpenuhi <math>2,89456 &gt; 1,78</math></li> </ul>
G6		$f_0 = 1,32$ $A = 15$ Kriteria <i>Reliable</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>1,32 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>330 &gt; 200</math></li> <li>iii. Tidak Terpenuhi <math>4,448132 &gt; 2</math></li> </ul> Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Tidak Terpenuhi <math>8,1766 &gt; 7,5</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>3,124266 &lt; 7,5</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>15 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Tidak Terpenuhi <math>0,28873 &gt; 0,132</math></li> <li>vi. Tidak Terpenuhi <math>4,448132 &gt; 1,78</math></li> </ul>

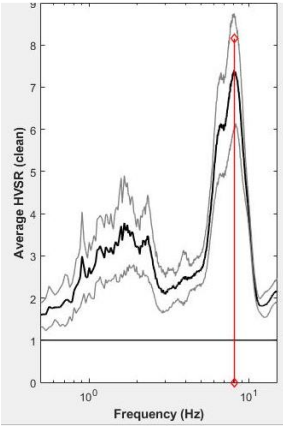
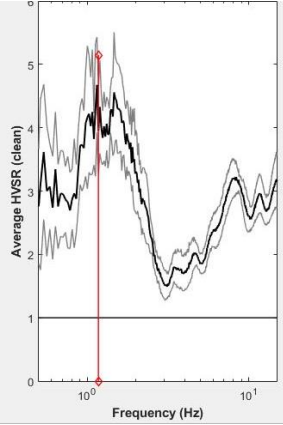
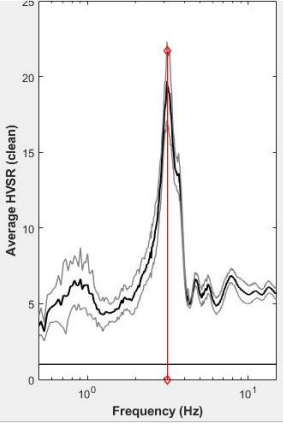


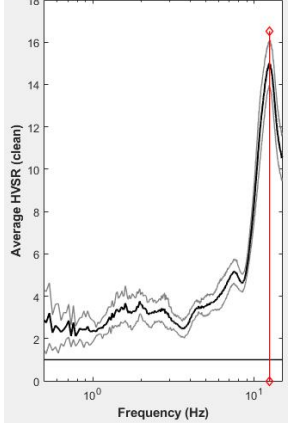
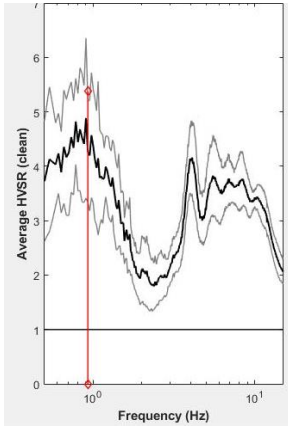
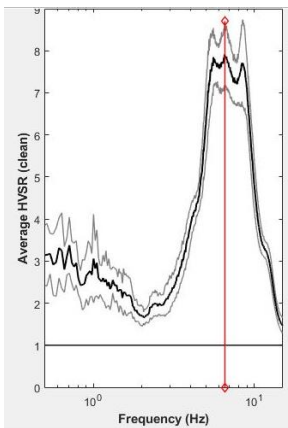
Titik	Kurva HVSR	Kriteria
H2		$f_0 = 1,42$ $A = 12,82$ Kriteria <i>Reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Terpenuhi <math>1,42 &gt; 0,4</math></li> <li>Terpenuhi <math>355 &gt; 200</math></li> <li>Tidak Terpenuhi <math>3,597905 &gt; 2</math></li> </ol> Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Tidak Terpenuhi <math>7,825033 &gt; 6,41</math></li> <li>Terpenuhi <math>2,583819 &lt; 6,41</math></li> <li>Terpenuhi <math>12,82 &gt; 2</math></li> <li>Tidak Terpenuhi</li> <li>Tidak Terpenuhi <math>0,28873 &gt; 0,142</math></li> <li>Tidak Terpenuhi <math>3,597905 &gt; 1,78</math></li> </ol>
H4		$f_0 = 0,83$ $A = 27,38$ Kriteria <i>Reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Terpenuhi <math>0,83 &gt; 0,4</math></li> <li>Terpenuhi <math>207,5 &gt; 200</math></li> <li>Tidak Terpenuhi <math>7,364725 &gt; 2</math></li> </ol> Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Tidak Terpenuhi <math>14,29497 &gt; 13,69</math></li> <li>Terpenuhi <math>2,849679 &lt; 13,69</math></li> <li>Terpenuhi <math>27,38 &gt; 2</math></li> <li>Tidak Terpenuhi</li> <li>Tidak Terpenuhi <math>0,15481 &gt; 0,1245</math></li> <li>Tidak Terpenuhi <math>7,364725 &gt; 2</math></li> </ol>
T3		$f_0 = 0,59$ $A = 13,62$ Kriteria <i>Reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Terpenuhi <math>0,59 &gt; 0,4</math></li> <li>Tidak Terpenuhi <math>147,5 &lt; 200</math></li> <li>Terpenuhi <math>1,770426 &lt; 2</math></li> </ol> Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Tidak Terpenuhi <math>11,27854 &gt; 6,81</math></li> <li>Terpenuhi <math>6,328073 &lt; 6,81</math></li> <li>Terpenuhi <math>13,62 &gt; 2</math></li> <li>Tidak Terpenuhi</li> <li>Tidak Terpenuhi <math>0,15481 &gt; 0,0885</math></li> <li>Terpenuhi <math>1,770426 &lt; 2</math></li> </ol>

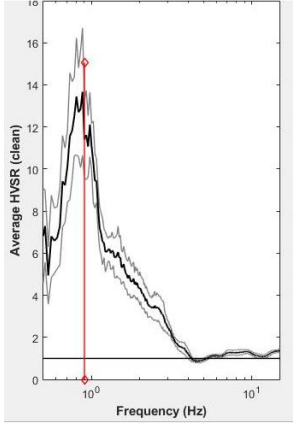
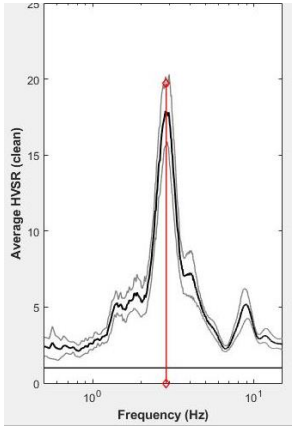
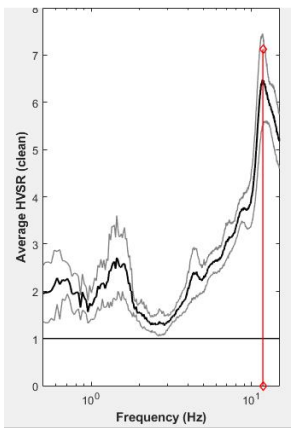
Titik	Kurva HVSr	Kriteria
T5		$f_0 = 4,17$ $A = 6,18$ Kriteria <i>Reliable</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>4,17 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>1042,5 &gt; 2</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>1,29624 &lt; 2</math></li> </ul> Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Tidak Terpenuhi <math>4,028647 &gt; 3,09</math></li> <li>ii. Tidak Terpenuhi <math>3,933359 &gt; 3,09</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>6,18 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Tidak Terpenuhi <math>0,28873 &gt; 0,2085</math></li> <li>vi. Terpenuhi <math>1,29624 &lt; 1,58</math></li> </ul>
T6		$f_0 = 9,47$ $A = 6,73$ Kriteria <i>Reliable</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>9,47 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>2367,5 &gt; 200</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>0,944011 &lt; 2</math></li> </ul> Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Tidak Terpenuhi <math>4,106174 &gt; 3,365</math></li> <li>ii. Tidak Terpenuhi <math>5,815243 &gt; 3,365</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>6,37 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Terpenuhi <math>0,28873 &lt; 0,4735</math></li> <li>vi. Terpenuhi <math>0,944011 &lt; 1,58</math></li> </ul>
T7		$f_0 = 7,27$ $A = 12,04$ Kriteria <i>Reliable</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>7,27 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>1817,5 &gt; 200</math></li> <li>iii. Tidak Terpenuhi <math>3,048019 &gt; 2</math></li> </ul> Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>4,765514 &lt; 6,02</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>4,103882 &lt; 6,02</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>12,04 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Terpenuhi <math>0,28873 &lt; 0,3635</math></li> <li>vi. Tidak Terpenuhi <math>3,048019 &gt; 1,58</math></li> </ul>

Titik	Kurva HVSr	Kriteria
T8		$f_0 = 12,03$ $A = 22,76$ Kriteria <i>Reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Terpenuhi <math>12,03 &gt; 0,4</math></li> <li>Terpenuhi <math>3007,5 &gt; 200</math></li> <li>Tidak Terpenuhi <math>5,852214 &gt; 2</math></li> </ol> Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Terpenuhi <math>9,350799 &lt; 11,38</math></li> <li>Tidak Terpenuhi <math>18,0959 &gt; 11,38</math></li> <li>Terpenuhi <math>22,76 &gt; 2</math></li> <li>Tidak Terpenuhi</li> <li>Terpenuhi <math>0,28873 &lt; 0,6015</math></li> <li>Tidak Terpenuhi <math>5,852214 &gt; 1,58</math></li> </ol>
TB1		$f_0 = 7,98$ $A = 9,56$ Kriteria <i>Reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Terpenuhi <math>7,98 &gt; 0,4</math></li> <li>Terpenuhi <math>1995 &gt; 200</math></li> <li>Tidak Terpenuhi <math>2,226409 &gt; 2</math></li> </ol> Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Tidak Terpenuhi <math>6,891423 &gt; 4,78</math></li> <li>Terpenuhi <math>4,533453 &lt; 4,78</math></li> <li>Terpenuhi <math>9,56 &gt; 2</math></li> <li>Tidak Terpenuhi</li> <li>Tidak Terpenuhi <math>0,28873 &gt; 0,399</math></li> <li>Terpenuhi <math>2,226409 &lt; 1,58</math></li> </ol>
TB2		$f_0 = 6,08$ $A = 17,52$ Kriteria <i>Reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Terpenuhi <math>6,08 &gt; 0,4</math></li> <li>Terpenuhi <math>1520 &gt; 200</math></li> <li>Tidak Terpenuhi <math>4,40917 &gt; 2</math></li> </ol> Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Terpenuhi <math>7,010113 &lt; 8,76</math></li> <li>Terpenuhi <math>6,503425 &lt; 8,76</math></li> <li>Terpenuhi <math>17,52 &gt; 2</math></li> <li>Tidak Terpenuhi</li> <li>Terpenuhi <math>0,28873 &lt; 0,304</math></li> <li>Tidak Terpenuhi <math>4,40917 &gt; 1,58</math></li> </ol>

Titik	Kurva HVSr	Kriteria
TB3		$f_0 = 0,81$ $A = 5,76$ Kriteria <i>Reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Terpenuhi <math>0,81 &gt; 0,4</math></li> <li>Terpenuhi <math>202,5 &gt; 200</math></li> <li>Terpenuhi <math>0,761605 &lt; 2</math></li> </ol> Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Tidak Terpenuhi <math>4,640125 &gt; 2,88</math></li> <li>Tidak Terpenuhi <math>3,068997 &gt; 2,88</math></li> <li>Terpenuhi <math>5,76 &gt; 2</math></li> <li>Tidak Terpenuhi</li> <li>Terpenuhi <math>0,027282 &lt; 0,1215</math></li> <li>Terpenuhi <math>0,761605 &lt; 2</math></li> </ol>
TB4		$f_0 = 1,24$ $A = 4,86$ Kriteria <i>Reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Terpenuhi <math>1,24 &gt; 0,4</math></li> <li>Terpenuhi <math>310 &gt; 200</math></li> <li>Terpenuhi <math>1,079879 &lt; 2</math></li> </ol> Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Tidak Terpenuhi <math>3,612806 &gt; 2,43</math></li> <li>Terpenuhi <math>1,83234 &lt; 2,43</math></li> <li>Terpenuhi <math>4,86 &gt; 2</math></li> <li>Tidak Terpenuhi</li> <li>Tidak Terpenuhi <math>0,28873 &gt; 0,124</math></li> <li>Terpenuhi <math>1,079879 &lt; 1,78</math></li> </ol>
TB5		$f_0 = 3,64$ $A = 7,9$ Kriteria <i>Reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Terpenuhi <math>3,64 &gt; 0,4</math></li> <li>Terpenuhi <math>910 &gt; 200</math></li> <li>Terpenuhi <math>1,515234 &lt; 2</math></li> </ol> Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Tidak Terpenuhi <math>4,906317 &gt; 3,95</math></li> <li>Tidak Terpenuhi <math>4,087252 &gt; 3,95</math></li> <li>Terpenuhi <math>7,9 &gt; 2</math></li> <li>Tidak Terpenuhi</li> <li>Tidak Terpenuhi <math>0,28873 &gt; 0,182</math></li> <li>Terpenuhi <math>1,515234 &lt; 1,58</math></li> </ol>

Titik	Kurva HVSr	Kriteria
TB6		$f_0 = 8,1$ $A = 7,41$ Kriteria <i>Reliable</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>8,1 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>2025 &gt; 200</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>1,935489 &lt; 2</math></li> </ul> Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Tidak Terpenuhi <math>4,00300 &gt; 3,705</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>3,158908 &lt; 3,075</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>7,41 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Terpenuhi <math>0,28873 &lt; 0,405</math></li> <li>vi. Tidak Terpenuhi <math>1,935489 &gt; 1,58</math></li> </ul>
TB7		$f_0 = 1,17$ $A = 4,68$ Kriteria <i>Reliable</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>1,17 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>292,5 &gt; 200</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>0,574084 &lt; 2</math></li> </ul> Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Tidak Terpenuhi <math>3,413792 &gt; 2,34</math></li> <li>ii. Tidak Terpenuhi <math>2,672046 &gt; 2,34</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>4,68 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Tidak Terpenuhi <math>0,28873 &gt; 0,117</math></li> <li>vi. Terpenuhi <math>0,574084 &lt; 1,78</math></li> </ul>
TB8		$f_0 = 3,15$ $A = 19,7$ Kriteria <i>Reliable</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>3,15 &gt; 0,4</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>787,5 &gt; 200</math></li> <li>iii. Tidak Terpenuhi <math>4,155923 &gt; 2</math></li> </ul> Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Terpenuhi <math>7,770919 &lt; 9,85</math></li> <li>ii. Terpenuhi <math>6,563458 &lt; 9,85</math></li> <li>iii. Terpenuhi <math>19,7 &gt; 2</math></li> <li>iv. Tidak Terpenuhi</li> <li>v. Tidak Terpenuhi <math>0,28873 &gt; 0,1575</math></li> <li>vi. Tidak Terpenuhi <math>4,155923 &gt; 1,58</math></li> </ul>

Titik	Kurva HVSr	Kriteria
TB9		$f_0 = 12,47$ $A = 15,02$ Kriteria <i>Reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Terpenuhi <math>12,47 &gt; 0,4</math></li> <li>Terpenuhi <math>3117,5 &gt; 200</math></li> <li>Tidak Terpenuhi <math>3,866355 &gt; 2</math></li> </ol> Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Terpenuhi <math>6,535203 &lt; 7,51</math></li> <li>Tidak Terpenuhi <math>12,54366 &gt; 7,51</math></li> <li>Terpenuhi <math>15,02 &gt; 2</math></li> <li>Tidak Terpenuhi</li> <li>Terpenuhi <math>0,28873 &lt; 0,6235</math></li> <li>Tidak Terpenuhi <math>3,866355 &gt; 1,58</math></li> </ol>
TB10		$f_0 = 0,93$ $A = 4,89$ Kriteria <i>Reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Terpenuhi <math>0,93 &gt; 0,4</math></li> <li>Terpenuhi <math>232,5 &gt; 200</math></li> <li>Terpenuhi <math>0,76829 &lt; 2</math></li> </ol> Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Tidak Terpenuhi <math>4,307137 &gt; 2,445</math></li> <li>Tidak Terpenuhi <math>2,554786 &gt; 2,445</math></li> <li>Terpenuhi <math>4,89 &gt; 2</math></li> <li>Tidak Terpenuhi</li> <li>Tidak Terpenuhi <math>0,15481 &gt; 0,1395</math></li> <li>Terpenuhi <math>0,76829 &lt; 2</math></li> </ol>
TB11		$f_0 = 6,56$ $A = 7,91$ Kriteria <i>Reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Terpenuhi <math>6,56 &gt; 0,4</math></li> <li>Terpenuhi <math>1640 &gt; 200</math></li> <li>Terpenuhi <math>1,93599 &lt; 2</math></li> </ol> Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Tidak Terpenuhi <math>4,477049 &gt; 3,955</math></li> <li>Tidak Terpenuhi <math>4,522699 &gt; 3,955</math></li> <li>Terpenuhi <math>7,91 &gt; 2</math></li> <li>Tidak Terpenuhi</li> <li>Terpenuhi <math>0,28873 &lt; 0,328</math></li> <li>Tidak Terpenuhi <math>1,93599 &gt; 1,58</math></li> </ol>

Titik	Kurva HVSr	Kriteria
TB12		$f_0 = 0,9$ $A = 13,68$ Kriteria <i>Reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Terpenuhi <math>0,9 &gt; 0,4</math></li> <li>Terpenuhi <math>225 &gt; 200</math></li> <li>Tidak Terpenuhi <math>2,715563 &gt; 2</math></li> </ol> Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Tidak Terpenuhi <math>9,462396 &gt; 6,84</math></li> <li>Terpenuhi <math>4,252 &lt; 6,84</math></li> <li>Terpenuhi <math>13,68 &gt; 2</math></li> <li>Tidak Terpenuhi</li> <li>Tidak Terpenuhi <math>0,154814 &gt; 0,135</math></li> <li>Tidak Terpenuhi <math>2,715563 &lt; 2</math></li> </ol>
TB13		$f_0 = 2,86$ $A = 17,91$ Kriteria <i>Reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Terpenuhi <math>2,86 &gt; 0,4</math></li> <li>Terpenuhi <math>715 &gt; 200</math></li> <li>Tidak Terpenuhi <math>4,170684 &gt; 2</math></li> </ol> Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Terpenuhi <math>6,895744 &lt; 8,955</math></li> <li>Terpenuhi <math>4,783879 &lt; 8,955</math></li> <li>Terpenuhi <math>17,91 &gt; 2</math></li> <li>Tidak Terpenuhi</li> <li>Tidak Terpenuhi <math>0,28873 &gt; 0,143</math></li> <li>Tidak Terpenuhi <math>4,170684 &gt; 1,58</math></li> </ol>
TB14		$f_0 = 11,79$ $A = 6,48$ Kriteria <i>Reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Terpenuhi <math>11,79 &gt; 0,4</math></li> <li>Terpenuhi <math>2947,5 &gt; 200</math></li> <li>Terpenuhi <math>1,279707 &lt; 2</math></li> </ol> Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Tidak Terpenuhi <math>3,316997 &gt; 3,24</math></li> <li>Tidak Terpenuhi <math>5,82294 &gt; 3,24</math></li> <li>Terpenuhi <math>6,48 &gt; 2</math></li> <li>Tidak Terpenuhi</li> <li>Terpenuhi <math>0,28873 &lt; 0,5895</math></li> <li>Terpenuhi <math>1,279707 &lt; 1,58</math></li> </ol>

#### Lampiran 4. Data *Event* Gempabumi

##### A. Data *Event* Gempabumi yang dirasakan Kecamatan Tambak Kabupaten

Banyumas Periode 2 September 2009 – 15 Desember 2007

No.	Tanggal	Koordinat		Depth (km)	M (SR)
		Bujur (°)	Lintang (°)		
1	02-09-09	107,32	-8,24	30	7,3
2	04-04-11	107,69	-10,11	10	7,1
3	27-01-14	109,26	-8,16	33	5,3
4	25-07-15	108,96	-8,49	72	5,7
5	15-11-16	109,28	-8,24	55	4,7
6.	15-12-17	108,11	-7,75	107	6,9

##### B. Nilai Percepatan Getaran Tanah (PGA) di Lokasi Penelitian untuk Setiap

*Event* Gempabumi

No.	Tanggal	Koordinat		Depth (km)	M (SR)	PGA (cm/s <sup>2</sup> )
		Bujur (°)	Lintang (°)			
1	02-09-09	107,32	-8,24	30	7,3	14,21 s.d 79,72
2	04-04-11	107,69	-10,11	10	7,1	6,40 s.d 35,75
3	27-01-14	109,26	-8,16	33	5,3	5,30 s.d 30,09
4	25-07-15	108,96	-8,49	72	5,7	3,87 s.d 21,75
5	15-11-16	109,28	-8,24	55	4,7	1,65 s.d 9,28
6	15-12-17	108,11	-7,75	107	6,9	13,08 s.d 73,40



## Lampiran 5. Perhitungan Jarak Episenter dan Jarak Hiposenter

Rumus empiris yang digunakan dalam perhitungan jarak episenter dan jarak hiposenter yaitu:

$$\Delta = \sqrt{(b_{titik} - b_{gempa})^2 + (l_{titik} - l_{gempa})^2}$$

$$R = \sqrt{\Delta^2 + h^2}$$

dengan  $\Delta$  adalah jarak episenter (km),  $R$  adalah jarak hiposenter (km),  $b$  adalah garis bujur atau longitude ( $^{\circ}$ ),  $l$  adalah garis lintang atau latitude ( $^{\circ}$ ),  $h$  adalah kedalaman gempabumi (km), dan  $1^{\circ}$  sama dengan 111,322 km.

Titik Data	Koordinat Pengukuran		Koordinat Gempa Bumi		Kedalaman (km)	Jarak Episenter (km)	Jarak Hiposenter (km)
	Bujur ( $^{\circ}$ )	Lintang ( $^{\circ}$ )	Bujur ( $^{\circ}$ )	Lintang ( $^{\circ}$ )			
A3	109.40	-7.58	107.32	-8.24	30	243.33	245.17
A4B	109.41	-7.58	107.32	-8.24	30	244.22	246.05
B4	109.40	-7.59	107.32	-8.24	30	243.00	244.84
B5B	109.42	-7.59	107.32	-8.24	30	244.86	246.69
C3B	109.39	-7.59	107.32	-8.24	30	241.93	243.78
C4B	109.40	-7.60	107.32	-8.24	30	242.61	244.46
C6B	109.42	-7.60	107.32	-8.24	30	244.56	246.39
D2	109.39	-7.61	107.32	-8.24	30	240.46	242.33
D3B	109.40	-7.61	107.32	-8.24	30	241.40	243.25
D4	109.40	-7.61	107.32	-8.24	30	242.42	244.27
D6	109.42	-7.61	107.32	-8.24	30	244.53	246.36

E4	109.40	-7.62	107.32	-8.24	30	242.13	243.98
E6	109.43	-7.62	107.32	-8.24	30	244.44	246.28
F2	109.39	-7.63	107.32	-8.24	30	239.81	241.68
F4B	109.40	-7.63	107.32	-8.24	30	241.90	243.76
F6B	109.42	-7.63	107.32	-8.24	30	243.77	245.61
G4	109.40	-7.64	107.32	-8.24	30	241.58	243.43
G6	109.42	-7.64	107.32	-8.24	30	243.39	245.24
H2B	109.39	-7.65	107.32	-8.24	30	239.47	241.35
H4	109.40	-7.65	107.32	-8.24	30	241.27	243.13
T3B	109.41	-7.55	107.32	-8.24	30	245.60	247.42
T5	109.41	-7.56	107.32	-8.24	30	245.10	246.93
T6B	109.41	-7.57	107.32	-8.24	30	244.47	246.31
T7	109.41	-7.58	107.32	-8.24	30	243.67	245.51
T8B	109.41	-7.58	107.32	-8.24	30	244.59	246.42
TB1	109.43	-7.54	107.32	-8.24	30	247.21	249.02
TB2	109.42	-7.54	107.32	-8.24	30	246.38	248.20
TB3	109.39	-7.60	107.32	-8.24	30	240.76	242.62
TB4	109.44	-7.60	107.32	-8.24	30	246.25	248.07
TB5	109.43	-7.56	107.32	-8.24	30	246.27	248.09
TB6	109.43	-7.58	107.32	-8.24	30	245.67	247.49
TB7	109.44	-7.59	107.32	-8.24	30	246.26	248.08
TB8	109.38	-7.55	107.32	-8.24	30	241.72	243.58
TB9	109.37	-7.57	107.32	-8.24	30	239.58	241.45
TB10	109.37	-7.60	107.32	-8.24	30	239.35	241.22
TB11	109.37	-7.63	107.32	-8.24	30	238.39	240.27

TB12	109.38	-7.65	107.32	-8.24	30	238.05	239.93
TB13	109.44	-7.63	107.32	-8.24	30	245.66	247.49
TB14	109.45	-7.62	107.32	-8.24	30	246.59	248.41

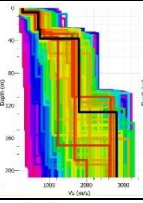
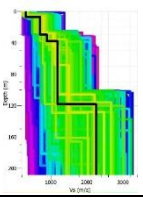
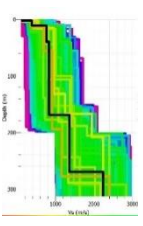
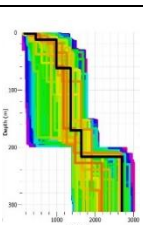
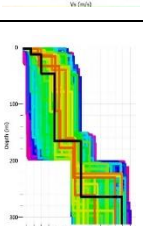
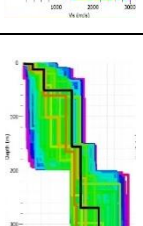
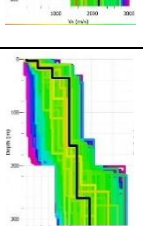
### Lampiran 6. Analisis Percepatan Getaran Tanah Maksimum (PGA)

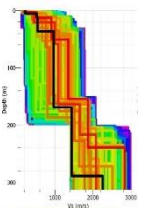
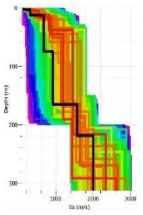
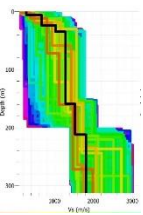
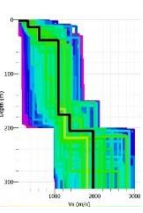
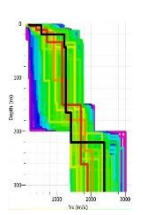
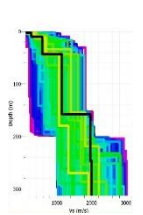
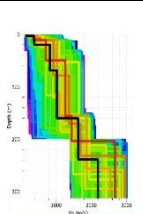
Rumus empiris untuk menghitung nilai percepatan getaran tanah menggunakan metode Kanai (1966) ditunjukkan persamaan (19).

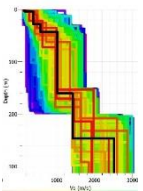
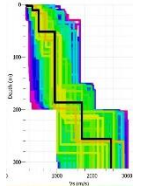
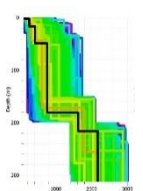
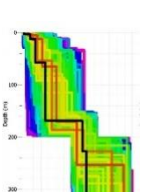
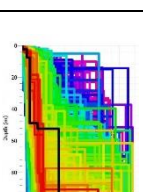
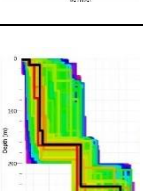
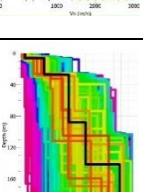
Titik Data	$T_g$ (sekon)	Magnitudo (SR)	Jarak Hiposenter (km)	PGA (cm/s <sup>2</sup> )
A3	0.13	7.30	245.17	56.31
A4B	2.04	7.30	246.05	14.21
B4	0.07	7.30	244.84	79.17
B5B	0.07	7.30	246.69	78.19
C3B	0.07	7.30	243.78	79.72
C4B	0.93	7.30	244.46	21.21
C6B	0.09	7.30	246.39	67.20
D2	1.64	7.30	242.33	16.24
D3B	1.41	7.30	243.25	17.41
D4	0.08	7.30	244.27	70.50
D6	0.24	7.30	246.36	41.52
E4	0.12	7.30	243.98	60.53
E6	0.46	7.30	246.28	29.86
F2	0.56	7.30	241.68	27.86
F4B	0.51	7.30	243.76	28.99
F6B	0.72	7.30	245.61	24.00
G4	0.87	7.30	243.43	22.14
G6	0.76	7.30	245.24	23.44
H2B	0.70	7.30	241.35	24.93
H4	1.20	7.30	243.13	18.84
T3B	1.69	7.30	247.42	15.45
T5	0.24	7.30	246.93	41.22
T6B	0.11	7.30	246.31	62.36
T7	0.14	7.30	245.51	54.92
T8B	0.08	7.30	246.42	70.23
TB1	0.13	7.30	249.02	56.26
TB2	0.16	7.30	248.20	49.37
TB3	1.23	7.30	242.62	18.68
TB4	0.81	7.30	248.07	22.31
TB5	0.27	7.30	248.09	38.22
TB6	0.12	7.30	247.49	57.24
TB7	0.85	7.30	248.08	21.67

TB8	0.32	7.30	243.58	36.60
TB9	0.08	7.30	241.45	73.84
TB10	1.08	7.30	241.22	20.20
TB11	0.15	7.30	240.27	53.97
TB12	1.11	7.30	239.93	20.04
TB13	0.35	7.30	247.49	34.01
TB14	0.08	7.30	248.41	68.65

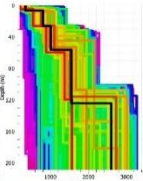
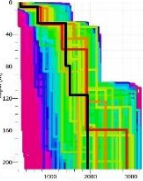
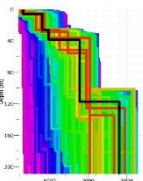
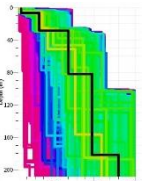
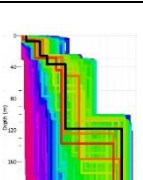
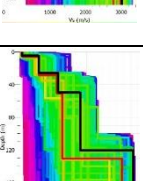
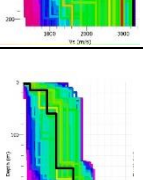
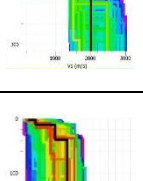
**Lampiran 7. Analisis Nilai Kecepatan Gelombang Geser ( $V_s$ ) dengan Dinver**

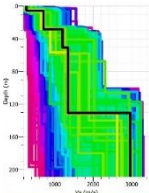
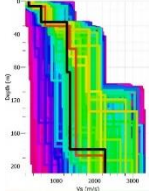
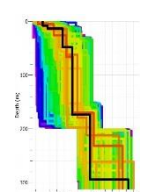
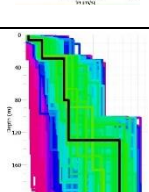
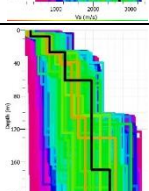
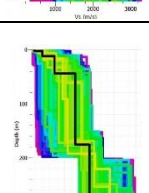
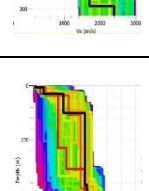
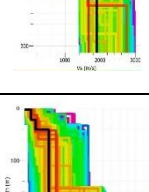
Titik	Formasi	Misfit	Gambar	$V_s$ (m/s)	Kedalaman (m)
A3	Halang	0,275		286,20	5,39
				761,13	26,52
				750,25	37,63
				1799,56	128,23
				2814,29	208,54
A4	Halang	0,148		262,63	4,61
				763,80	25,65
				793,27	32,62
				1334,73	121,97
				2955,35	208,54
B4	Halang	0,231		117,86	2,21
				386,24	11,07
				763,79	39,48
				829,51	168,93
				1359,33	269,41
B5	Halang	0,143		2239,31	312,53
				170,82	2,24
				455,68	12,49
				993,70	61,96
				1363,60	170,61
C3	Halang	0,163		1641,12	216,68
				2709,05	312,17
				103,39	2,21
				321,01	12,89
				597,97	46,34
C4	Halang	0,184		953,79	165,69
				1674,37	264,20
				2779,23	312,53
				144,62	3,14
				372,35	12,62
C6	Halang	0,232		668,77	51,29
				1433,07	156,14
				1676,35	269,62
				2170,13	312,07
				185,85	3,36
				500,15	16,75
				908,27	35,50
				1373,29	162,25
				1596,25	261,48

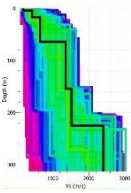
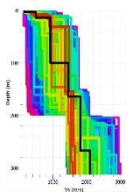
				1944,09	312,51
D2	Halang	0,174		224,69	5,39
				519,56	12,00
				546,92	36,16
				976,27	169,03
				1441,74	288,80
				2254,84	312,39
D3	Halang	0,177		134,36	2,78
				308,23	12,45
				672,74	74,89
				924,24	165,73
				1575,43	218,62
				2001,00	312,58
D4	Halang	0,179		281,09	5,79
				668,37	23,85
				1029,24	34,74
				1282,75	159,28
				1530,85	212,16
				1815,03	312,40
D6	Alluvium	0,263		106,62	2,43
				337,83	13,42
				611,72	38,17
				1093,69	175,87
				1376,47	205,97
				1964,80	312,50
E4	Alluvium	0,191		187,57	2,94
				548,31	20,02
				1221,30	43,70
				1260,47	165,68
				1413,58	220,91
				2395,95	312,58
E6	Alluvium	0,247		121,56	1,97
				264,27	10,13
				579,86	43,30
				1140,06	153,63
				1964,80	246,52
				2006,88	312,47
F2	Alluvium	0,178		157,58	3,47
				374,75	19,87
				822,59	69,2
				1023,32	160,87
				1622,59	239,06
				2188,41	312,54

F4	Alluvium	0,207		200,72	4,72
				431,26	10,22
				476,91	35,47
				999,39	152,89
				1983,17	246,40
				2371,67	312,40
F6	Alluvium	0,184		136,72	2,91
				293,54	11,08
				480,62	51,87
				935,07	186,69
				1710,84	256,47
				2547,14	312,58
G4	Alluvium	0,114		120,76	2,439
				252,27	16,94
				417,62	49,34
				751,19	181,22
				1624,19	216,57
				2169,00	312,66
G6	Alluvium	0,161		149,95	3,30
				320,95	12,10
				455,94	57,74
				713,34	168,68
				1692,22	227,74
				1791,22	312,11
H2	Alluvium	0,195		127,25	2,34
				278,21	21,10
				609,97	106,22
				945,22	170,71
				1500,66	246,52
				2594,05	312,53
H4	Alluvium	0,169		112,99	2,23
				302,58	11,94
				563,31	137,44
				633,60	163,94
				1623,70	244,04
				2643,83	312,56
T3	Anggota Breksi Formasi Halang	0,309		315,19	6,05
				844,04	26,97
				1528,36	87,73
				2005,81	141,68
				2955,28	208,62
T5	Anggota Breksi	0,239		341,21	6,43
				805,06	26,20



	Formasi Halang			1009,78	56,10
				1549,66	124,50
				2597,79	208,54
T6	Anggota Breksi Formasi Halang	0,188		258,90	5,69
				690,23	26,08
				1391,13	79,47
				1491,26	115,54
				1921,05	208,62
T7	Anggota Breksi Formasi Halang	0,183		304,32	5,98
				802,76	25,68
				971,41	38,87
				1779,53	117,31
				2812,88	208,51
T8	Anggota Breksi Formasi Halang	0,256		263,55	6,75
				699,98	28,40
				1403,32	81,91
				1967,75	181,69
				2599,60	208,57
TB1	Anggota Breksi Formasi Halang	0,262		335,86	7,60
				721,64	25,78
				914,92	36,55
				1430,42	118,39
				3015,97	208,53
TB2	Anggota Breksi Formasi Halang	0,200		251,46	4,61
				714,86	25,68
				1235,05	49,79
				1834,65	120,76
				3264,94	208,54
TB3	Halang	0,157		116,3	2,74
				289,25	14,70
				772,50	59,28
				1031,93	163,77
				1516,20	210,22
TB4	Halang	0,154		2022,85	312,41
				261,93	2,28
				445,13	11,38
				972,50	38,69
				1297,25	167,38
				1907,90	253,64
				2541,86	312,01

TB5	Anggota Breksi Formasi Halang	0,203		271,32	5,82
				714,27	28,37
				1208,84	50,76
				1348,14	130,80
				2959,21	208,54
TB6	Anggota Breksi Formasi Halang	0,153		284,97	5,73
				612,16	25,25
				1286,15	86,22
				1358,13	179,53
				2285,87	208,15
TB7	Halang	0,178		395,41	8,08
				529,71	13,29
				972,58	48,41
				1248,24	174,18
				1761,23	294,82
TB8	Anggota Breksi Formasi Halang	0,293		259,68	6,56
				624,01	28,86
				1217,10	79,84
				1327,24	128,81
				2702,50	208,27
TB9	Anggota Breksi Formasi Halang	0,181		335,87	7,85
				839,75	26,81
				1257,25	60,17
				1977,09	169,38
				2452,18	207,97
TB10	Alluvium	0,201		166,96	2,48
				387,07	12,01
				727,25	44,30
				1309,79	175,62
				1707,20	294,86
TB11	Alluvium	0,231		2392,76	312,66
				172,80	3,34
				396,96	15,05
				960,54	50,57
				1569,02	183,07
TB12	Alluvium	0,169		1624,91	212,29
				1904,37	312,58
				114,02	2,70
				249,58	22,06
				363,83	40,71
				685,42	194,19
				1427,62	274,95

				1758,89	312,38
TB13	Aluvium	0,253		180,03	4,17
				426,66	17,45
				652,92	64,60
				1363,10	154,46
				1521,91	225,32
				2406,04	312,53
TB14	Alluvium	0,148		149,89	2,87
				491,02	13,94
				926,45	99,89
				1461,02	164,11
				1811,45	266,86
				2105,15	312,53

### Lampiran 8 . Analisis Kecepatan Gelombang Geser Kedalaman 30 m ( $V_{s30}$ )

Rumus empiris untuk menghitung nilai kecepatan gelombang geser kedalaman 30 m ( $V_{s30}$ ) ditunjukkan persamaan (22).

No	Titik	Koordinat		$V_{s30}$ (m/s)
		Bujur (°)	Lintang (°)	
1	A3	109,4049	-7,58349	488,5776
2	A4	109,4134	-7,58406	556,7298
3	B4	109,4045	-7,59218	380,2944
4	B5	109,4212	-7,5896	351,3263
5	C3	109,3947	-7,59297	271,2854
6	C4	109,4037	-7,60149	285,7291
7	C6	109,4220	-7,6014	458,0523
8	D2	109,3863	-7,61035	370,8944
9	D3	109,3951	-7,6105	207,071
10	D4	109,4045	-7,61003	515,4642
11	D6	109,4243	-7,61011	313,211
12	E4	109,4046	-7,61923	453,0792
13	E6	109,4254	-7,61632	287,6678
14	F2	109,3855	-7,62821	238,5644
15	F4	109,4047	-7,62684	336,2713
16	F6	109,4227	-7,62867	223,903
17	G4	109,4048	-7,63779	193,2273
18	G6	109,4218	-7,6376	200,6329
19	H2	109,3876	-7,64618	132,1656
20	H4	109,4045	-7,64656	109,243
21	T3	109,4146	-7,54725	358,2716
22	T5	109,4129	-7,55623	410,8898
23	T6	109,4098	-7,56511	333,714
24	T7	109,4055	-7,57536	519,3105
25	T8	109,4144	-7,57608	316,8826
26	TB1	109,4263	-7,53639	503,4181
27	TB2	109,4203	-7,5422	445,5751
28	TB3	109,387	-7,60366	244,6647
29	TB4	109,4383	-7,60283	524,1974
30	TB5	109,4252	-7,56036	419,3267
31	TB6	109,427	-7,58381	301,8123
32	TB7	109,4359	-7,59464	451,942
33	TB8	109,3798	-7,55296	291,5879
34	TB9	109,3657	-7,57151	413,8822
35	TB10	109,3739	-7,60412	357,6757
36	TB11	109,3716	-7,62622	349,6214

37	TB12	109,3751	-7,6492	196,7077
38	TB13	109,4401	-7,62761	237,1498
39	TB14	109,4463	-7,619	223,1051

### Lampiran 9. Data indeks topografi (TI)

No.	Titik	Koordinat		TI
		Bujur (°)	Lintang (°)	
1	A3	109.4049	-7.5835	3.5
2	A4	109.4134	-7.5841	5.2
3	B4	109.4045	-7.5922	4.1
4	B5	109.4212	-7.5896	5.2
5	C3	109.3947	-7.5930	5.4
6	C4	109.4037	-7.6015	4.2
7	C6	109.4220	-7.6014	6.9
8	D2	109.3863	-7.6103	3.9
9	D3	109.3951	-7.6105	5.6
10	D4	109.4045	-7.6100	4.7
11	D6	109.4243	-7.6101	5.4
12	E4	109.4046	-7.6192	5.9
13	E6	109.4254	-7.6163	6.1
14	F2	109.3855	-7.6282	5.7
15	F4	109.4047	-7.6268	5.7
16	F6	109.4227	-7.6287	6.8
17	G4	109.4048	-7.6378	6.8
18	G6	109.4218	-7.6376	5.9
19	H2	109.3876	-7.6462	12
20	H4	109.4045	-7.6466	5.2
21	T3	109.4146	-7.5472	7.9
22	T5	109.4129	-7.5562	2.3
23	T6	109.4098	-7.5651	7.7
24	T7	109.4055	-7.5754	8.4
25	T8	109.4144	-7.5761	2.4
26	TB1	109.4263	-7.5364	2.2
27	TB2	109.4203	-7.5422	5.7
28	TB3	109.3870	-7.6037	5.7
29	TB4	109.4383	-7.6028	5.4
30	TB5	109.4252	-7.5604	2.4
31	TB6	109.4270	-7.5838	3.3
32	TB7	109.4359	-7.5946	3.7
33	TB8	109.3798	-7.5530	2.2
34	TB9	109.3657	-7.5715	6.7
35	TB10	109.3739	-7.6041	5
36	TB11	109.3716	-7.6262	6.4
37	TB12	109.3751	-7.6492	6.1

38	TB13	109.4401	-7.6276	8.8
39	TB14	109.4463	-7.6190	5.4

### Lampiran 10. Analisis *Normalized Distance* (ND)

Rumus empiris untuk menghitung nilai *normalized distance* (ND) ditunjukkan persamaan (4).

Titik	Koordinat		Jarak Pantai	Jarak Gunung	ND
	Bujur (°)	Lintang (°)			
A3	109.4049	-7.58349	15.19	42.99	0.261086
A4B	109.4134	-7.58406	15.42	43.57	0.2614
B4	109.4045	-7.59218	14.25	43.85	0.245267
B5B	109.4212	-7.5896	15.09	44.49	0.253273
C3B	109.3947	-7.59297	13.87	43.48	0.241848
C4B	109.4037	-7.60149	13.24	44.69	0.228552
C6B	109.422	-7.6014	13.87	45.66	0.232992
D2	109.3863	-7.61035	11.76	44.74	0.208142
D3B	109.3951	-7.6105	12.03	45.18	0.210278
D4	109.4045	-7.61003	12.38	45.61	0.213485
D6	109.4243	-7.61011	13.02	46.6	0.218383
E4	109.4046	-7.61923	11.42	46.34	0.197715
E6	109.4254	-7.61632	12.45	47.29	0.208403
F2	109.3855	-7.62821	10.04	46.52	0.177511
F4B	109.4047	-7.62684	10.67	47.27	0.184156
F6B	109.4227	-7.62867	11.06	48.35	0.186164
G4	109.4048	-7.63779	9.43	48.36	0.163177
G6	109.4218	-7.6376	10.11	49.16	0.170575
H2B	109.3876	-7.64618	8.12	48.43	0.14359
H4	109.4045	-7.64656	8.55	49.23	0.147975
T3	109.4146	-7.54725	19.36	40.01	0.326091
T5	109.4129	-7.55623	18.37	40.83	0.310304
T6B	109.4098	-7.56511	17.27	41.48	0.293957
T7	109.4055	-7.57536	16.08	42.27	0.275578
T8B	109.4144	-7.57608	16.29	42.81	0.275635
TB1	109.4263	-7.53639	20.91	39.73	0.344822
TB2	109.4203	-7.5422	20.05	39.88	0.334557
TB3	109.387	-7.60366	12.52	44.06	0.22128
TB4	109.4383	-7.60283	14.37	46.75	0.235111
TB5	109.4252	-7.56036	18.31	41.92	0.304001
TB6	109.427	-7.58381	15.87	44.26	0.263928
TB7	109.4359	-7.59464	15.1	45.8	0.247947
TB8	109.3798	-7.55296	17.83	38.75	0.315129

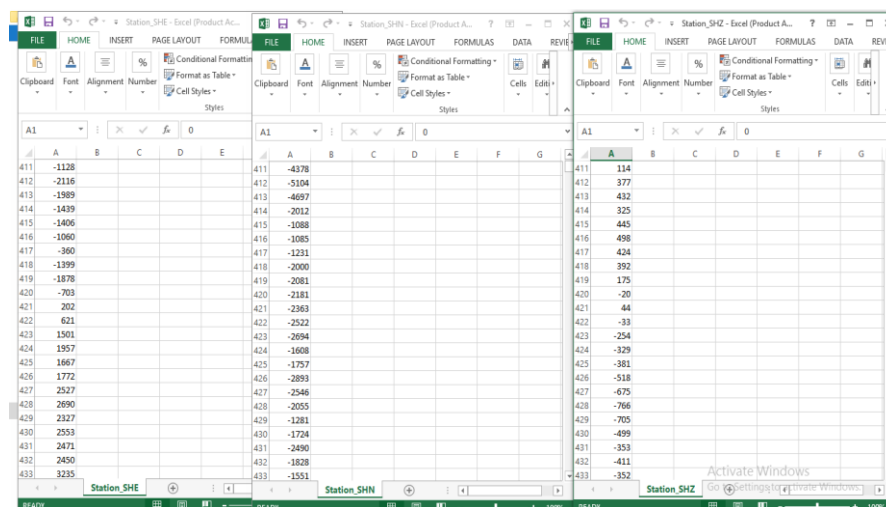


TB9	109.3657	-7.57151	15.46	39.92	0.279162
TB10	109.3739	-7.60412	12.12	43.55	0.217712
TB11	109.3716	-7.62622	9.73	45.71	0.175505
TB12	109.3751	-7.6492	7.63	48.24	0.136567
TB13	109.4401	-7.62761	11.99	49.08	0.196332
TB14	109.4463	-7.619	13.19	48.69	0.213154

## Lampiran 11. Pengolahan Data

### A. Cutting Data Mikrotremor Menggunakan Microsoft Excel

1. Membuka Trace sinyal yang terdiri dari 3 komponen sinyal yaitu East-West, North-South, dan Vertical dalam format .dat yang dapat dibuka menggunakan Excel.



Gambar L1. 3 Komponen Sinyal (East-West, North-South, dan Vertical).

2. Memilih sinyal yang memiliki nilai diantar nilai -3333,3 – 3333,3, setiap sinyal mengumpulkan sebanyak 27500 data untuk mendapatkan 11 *windowing*.
3. Mengabungkan 3 sinyal tersebut menggunakan Excel selanjutnya disimpan dalam format .xls atau .txt.

```

-407    -1596    162
-102    1443    840
212     2531    446
252     1054    -568
149     -803    -663
-121    -1511    -97
-298    -1304    377
-131     198    506
101     1266    298
178     1126    -217
22       240    -480
-42     -538    -227
-28     -757    361
-64     -451    414
-90     -45    -110
-73     -135     13
50      123     143
102     407     246
61       242    -245
-32     -190     175
-117    -755     250
-145    -730     106
-39     407      15
131     1220    -180
112     -13    -132
-74    -1534      39
-197    -995      -8
-19      820     190
138     1280     473
69      -121     155
-43    -1405    -561
-167    -705    -533
-109     727     109
127      538     635
158     -169     221
-3      -278    -395

```

Gambar L2. Gabungan 3 komponen sinyal

## B. Mengubah Format .txt Menjadi .saf Menggunakan Notepad++

1. Membuka *software* Notepad++, kemudian memilih menu *File* → *Open* → membuka folder *OpenHVSr-Processing-Toolkit-1.0.0* → *examples* → *example2\_saf\_files\_expert\_mode* → memilih salah satu *file*, misalnya HVSr1.SAF

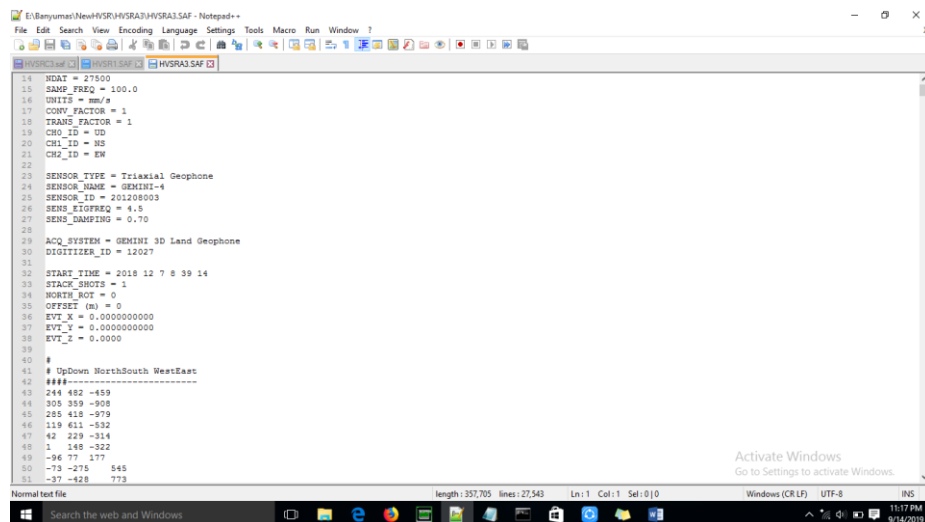
```

14 NOAT = 240000
15 SAMP_FREQ = 200.0
16 UNITS = mm/s
17 CONV_FACTOR = 1
18 TRANS_FACTOR = 1
19 CH0_ID = ID
20 CH1_ID = NS
21 CH2_ID = EW
22
23 SENSOR_TYPE = Triaxial Geophone
24 SENSOR_NAME = GEMINI-4
25 SENSOR_ID = 201208003
26 SENS_ETOFREQ = 4.5
27 SENS_DAMPING = 0.70
28
29 ACQ_SYSTEM = GEMINI 3D Land Geophone
30 DIGITIZER_ID = 12027
31
32 START_TIME = 2017 07 10 16 43 01
33 STACK_SHOTS = 1
34 NORTH_ROT = 0
35 OFFSET (m) = 0
36 EVI_X = 0.0000000000
37 EVI_Y = 0.0000000000
38 EVI_Z = 0.0000
39
40 #
41 # UpDown NorthSouth WestEast
42 #####
43 0.00143813 0.00001500 -0.00132271
44 -0.00076882 -0.00112383 -0.00556288
45 -0.00267481 -0.00163402 -0.00823691
46 -0.00365973 -0.00204400 -0.00972443
47 -0.00328583 -0.00234465 -0.00821855
48 -0.00124304 -0.00214622 -0.00499559
49 -0.00022144 -0.00099628 -0.00151554
50 0.00027082 0.00001500 0.00171660
51 -0.00008485 0.00119026 0.00442535

```

Gambar L3. Contoh file dengan format .saf

2. Kemudian mengubah *NDAT* (banyaknya data), *SAMP\_FREQ* (d disesuaikan pada saat pengukuran di lapangan), *START TIME* (d disesuaikan pada waktu pengukuran yang tercantum pada *software TDS 5.2* untuk lebih detailnya), setelah itu menyalin data tiga komponen sinyal mikrotremor yang diperoleh dari hasil *cutting* sinyal.



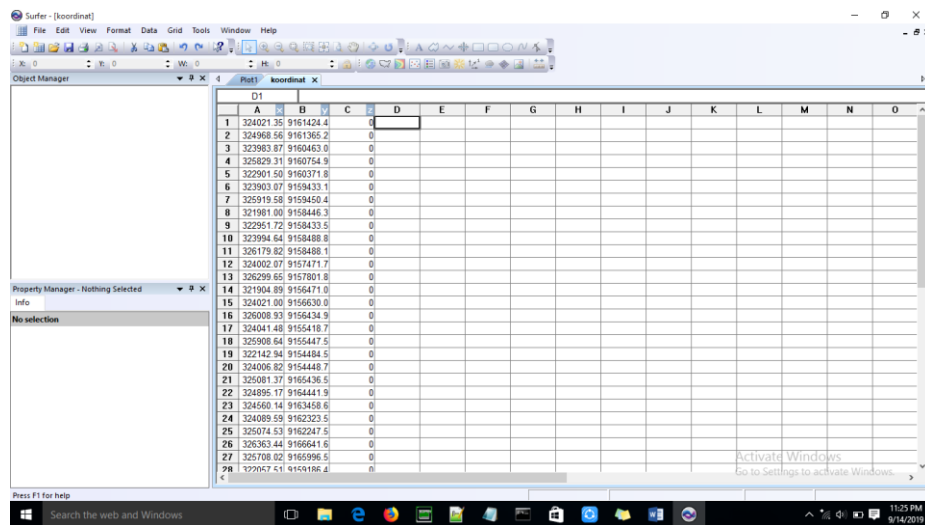
```
14 NDAT = 27500
15 SAMP_FREQ = 100.0
16 UNITS = mm/s
17 CONV_FACTOR = 1
18 TRANS_FACTOR = 1
19 CH0_ID = UD
20 CH1_ID = NS
21 CH2_ID = EW
22
23 SENSOR_TYPE = Triaxial Geophone
24 SENSOR_NAME = GEMINI-4
25 SENSOR_ID = 201208003
26 SENS_ETOFREQ = 4.5
27 SENS_DAMPING = 0.70
28
29 ACQ_SYSTEM = GEMINI 3D Land Geophone
30 DIGITIZER_ID = 12027
31
32 START_TIME = 2018 12 7 8 39 14
33 STACK_SHOTS = 1
34 WORKSHEET = 0
35 OFFSET (m) = 0
36 EVT_X = 0.0000000000
37 EVT_Y = 0.0000000000
38 EVT_Z = 0.0000
39
40 #
41 # UpDown NorthSouth WestEast
42 #####
43 244 492 -459
44 305 359 -908
45 285 618 -979
46 119 611 -532
47 42 228 -314
48 1 149 -322
49 -96 77 177
50 -73 -275 545
51 -37 -428 773
```

Gambar L4. File format .saf yang telah diubah

3. Menyimpan *file* dengan format .saf pada folder baru, misalnya folder 1 untuk *file* HVSRA3.SAF.
4. Mengulangi langkah 1 sampai 3 sebanyak data penelitian dan disimpan pada folder yang terpisah (setiap 1 data memiliki 1 folder), contohnya data penelitian sebanyak 39 data maka membuat folder sebanyak 39 untuk format .saf.

### C. Membuat Koordinat dengan Format .txt Menggunakan *Surfer12*

1. Membuka *software* Surfer 12, kemudian memilih *icon New Worksheet* pada toolbar, mengisi kolom A, B, dan C, di mana kolom A diisi dengan koordinat x, kolom B diisi dengan koordinat y, dan kolom C diisi dengan 0.

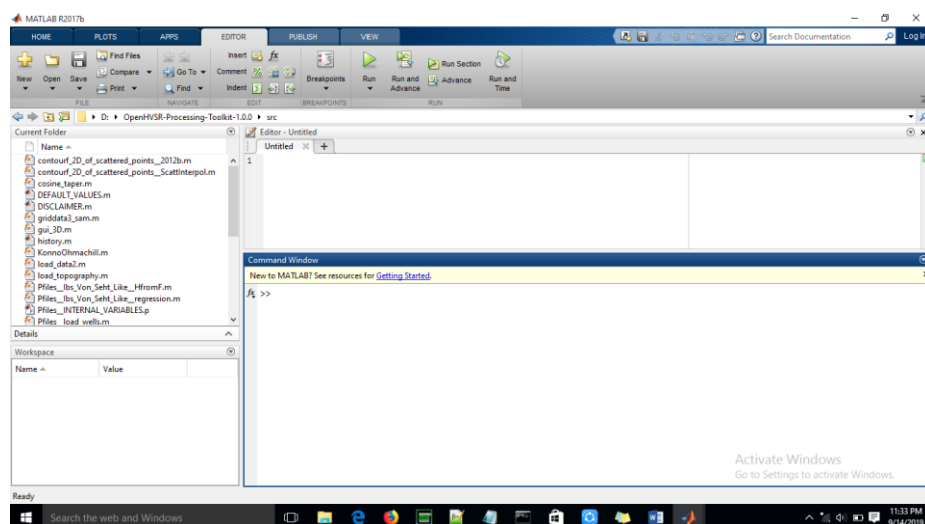


Gambar L5. Membuat titik koordinat menggunakan *Surfer*

2. Menyimpan *file* dengan format .txt. yang disimpan pada folder di setiap titik penelitian.

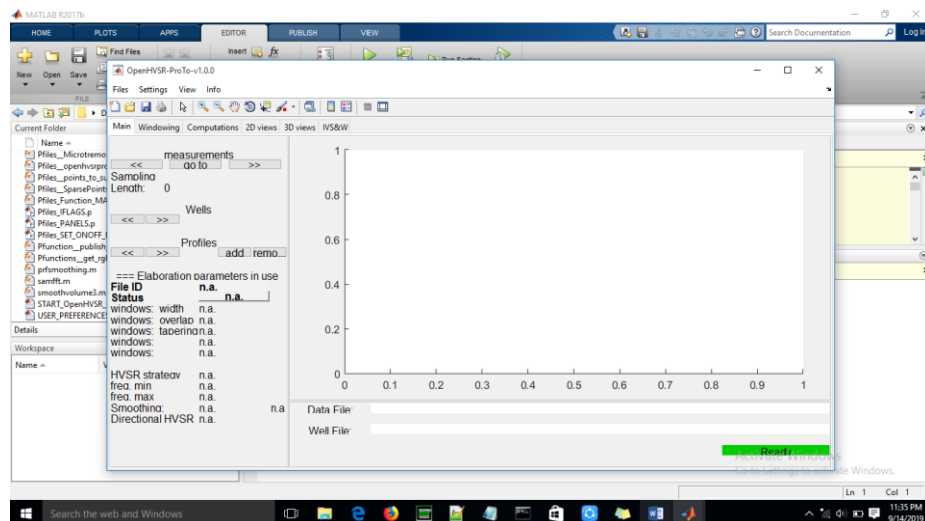
#### D. Analisis kurva h/v menggunakan openhvsr

1. Membuka *software* Matlab 2017b, lalu muncul tampilan jendela *editor* dan *command window*



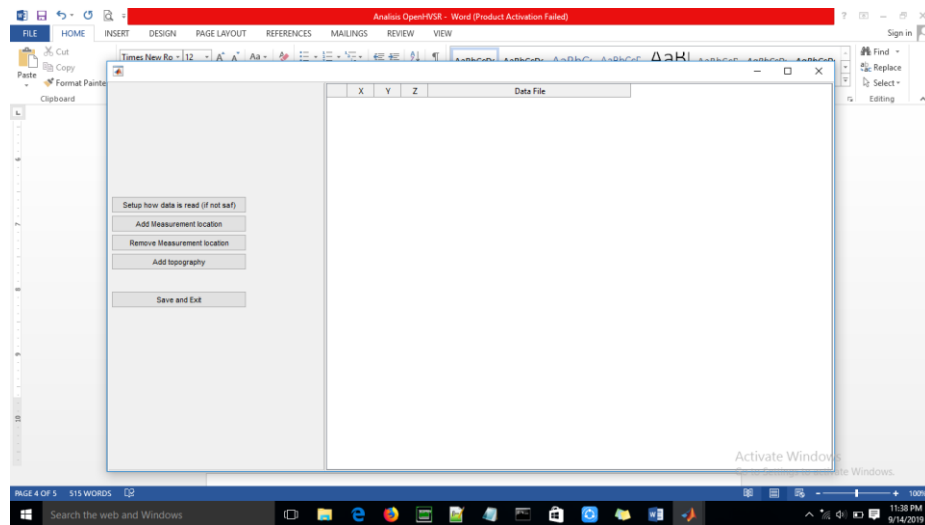
Gambar L6. Tampilan awal Matlab 2017b

2. Untuk memulai menggunakan OpenHVSr, maka memilih menu *Open* → memilih file pada folder *OpenHVSr-Processing-Toolkit-1.0.0* → *src* → *START\_OpenHVSr\_ProTo.m* → Mengklik *Run* pada *toolbar*, sehingga muncul jendela OpenHVSr yang siap digunakan.



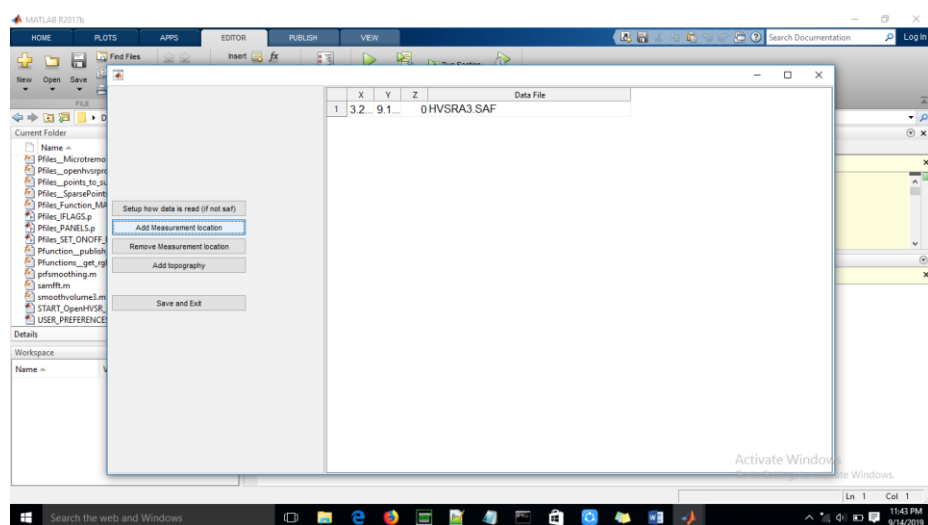
Gambar L7. *START\_OpenHVSr\_ProTo.m* setelah di *Run* menggunakan Matlab2017b

3. Kemudian membuat *project* baru dengan memilih menu *Files* → *create/edit project* → membuat *folder* untuk OpenHVSr dan membuat *folder* lagi di dalamnya yang sesuai dengan banyaknya titik penelitian → lalu *select folder* yang telah dibuat dan akan muncul tampilan



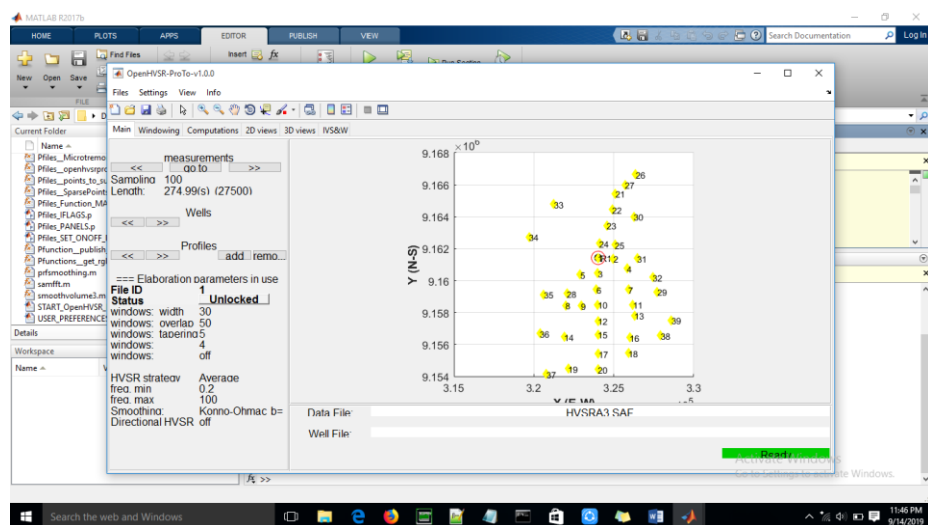
Gambar L8. Tampilan *create/edit project*

4. Tampilan pada Gambar L8. ditunjukkan untuk menyalin koordinat penelitian pada semua titik pengukuran dengan memilih *Add Measurement location* → muncul kolom x, y, dan z di mana kolom x dan y diisi dengan koordinat x dan y sedangkan kolom z diisi 0 → OK → memilih *file* format .saf yang sudah dibuat sesuai koordinat yang ditulis, contohnya pada Gambar L20 menggunakan data HVSR3.SAF pada folder 1



Gambar L9. Tampilan *Add Measurement*

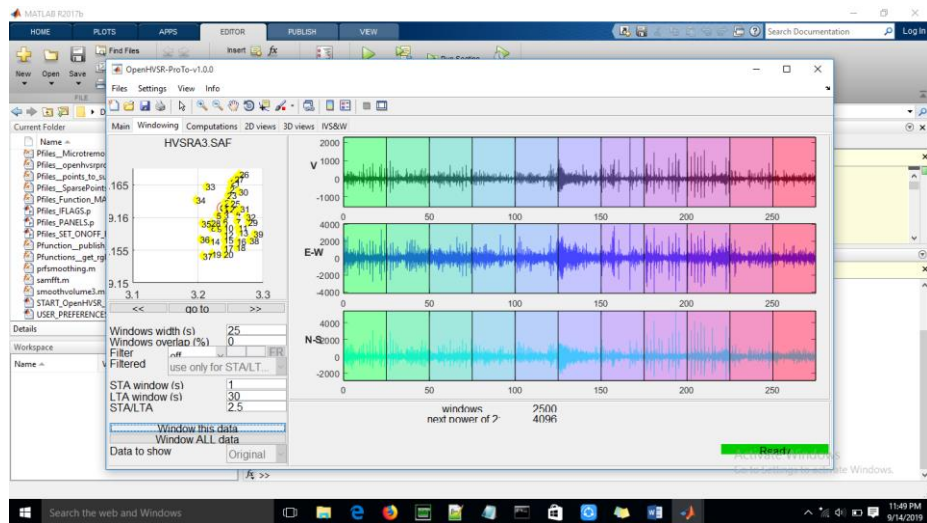
5. Melakukan langkah 4 sebanyak titik penelitian, kemudian *Add topography* → memilih *file* yang berisi titik koordinat yang sudah dibuat dalam format .txt → *Save and exit*
6. Membuka *software* Matlab 2017b, lalu memilih menu *Open* → memilih file pada folder *OpenHVSr-Processing-Toolkit-1.0.0* → *src* → *START\_OpenHVSr\_ProTo.m* → Mengklik *Run* pada *toolbar*, sehingga muncul jendela OpenHVSr yang siap digunakan yang ditunjukkan pada Gambar L6.
7. Setelah itu memilih menu *Files* → *load project* → memilih *file* format .m → *Open*, sehingga muncul jendela baru seperti yang ditunjukkan pada Gambar L10 .



Gambar L10. Tampilan *load project*

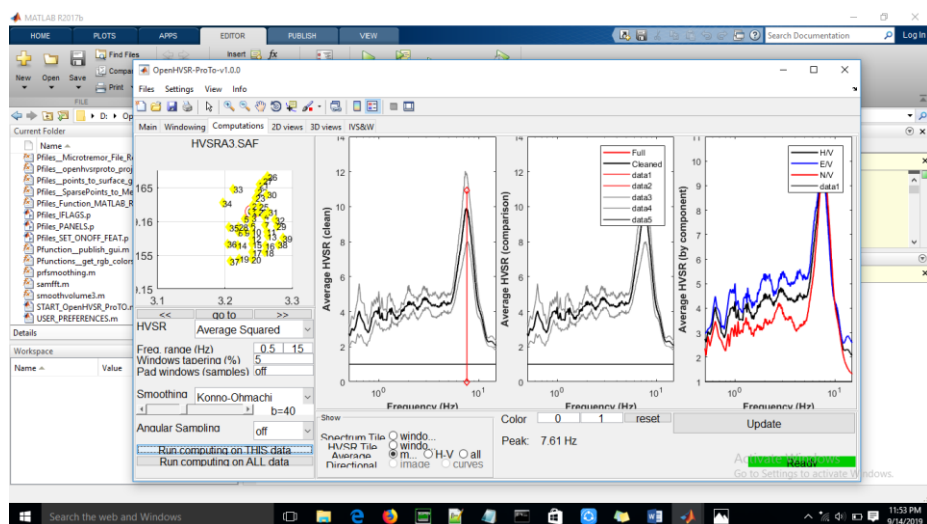
8. Melakukan *windowing* kembali menggunakan OpenHVSr dengan memilih *windowing* → mengatur *windows width* (s), *windows overlap* (%), dan STA/LTA yang disesuaikan pada *software* Geopsy → *windows this data*.





Gambar L11. Tampilan *windowing*

9. Selanjutnya untuk membuat kurva  $H/V$  maka memilih *computations* → mengatur *freq.range* (Hz) dan *smoothing* (disesuaikan pada *software* Geopsy), *average* HVSR, dan *color* → *Run computing on this data*, sehingga muncul kurva  $H/V$  seperti yang ditunjukkan pada Gambar L.

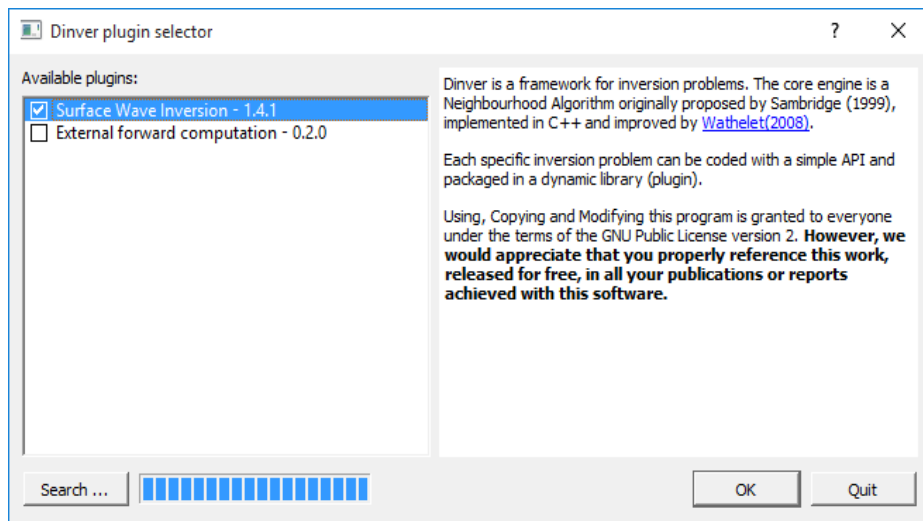


Gambar L12. Tampilan kurva  $H/V$

10. Menyimpan kurva  $H/V$  dengan memilih menu *Files* → *save full output set* (txt) → *select folder* sesuai titik penelitian.

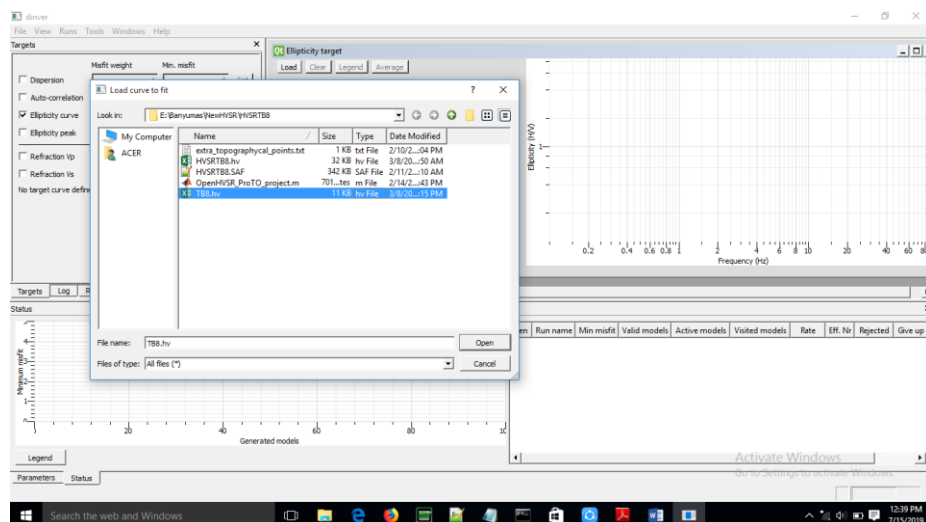
## E. Menganalisis Kurva H/V dengan Pemodelan *Ellipticity Curve* menggunakan Dinver

1. Membuka *Dinver*, sehingga akan muncul tampilan seperti Gambar → klik *OK*



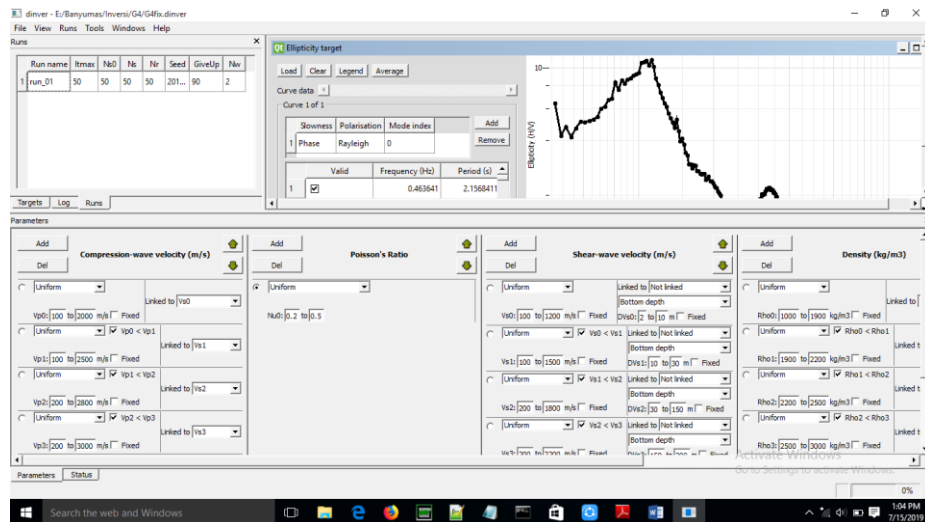
Gambar L13. Tampilan *dinver plugin selector*

2. Memilih *Ellipticity Curve* pada kotak *Target* lalu mengklik *Set* → *Load*, akan muncul kotak *load curve to fit* dan input *file* data dalam format *.hv* hasil analisis kurva H/V dari program OpenHVSAR yang telah diubah ke dalam format *.hv* *Geopsy* seperti Gambar kemudian klik *Open*.



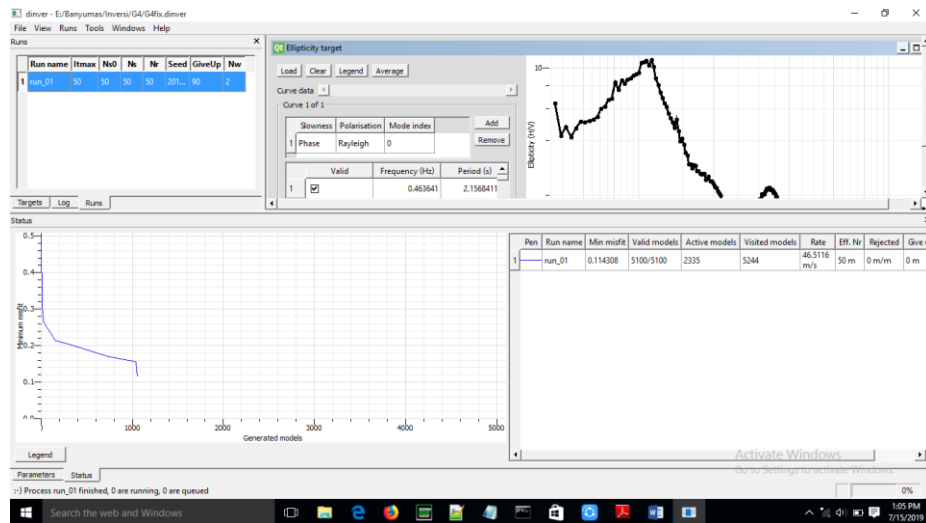
Gambar L14. Tampilan memasukkan data kurva H/V untuk diolah

- Setelah muncul kurva H/V kemudian memilih menu *Tools* → *Parameters* maka akan muncul kotak *Parameters* di pojok kiri kemudian klik



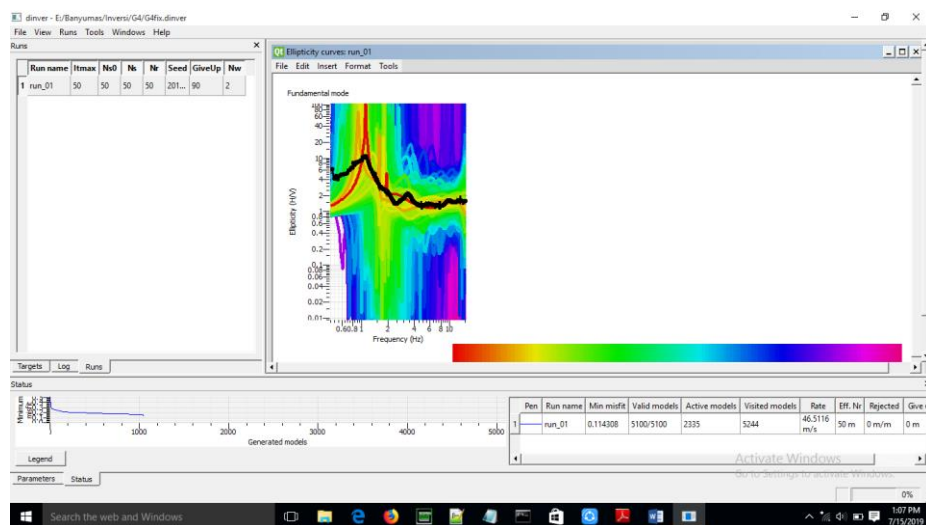
Gambar L15. Tampilan pengisian parameter

- Pada kotak *Parameters* terdapat empat komponen input data yang terdiri dari *Compression-wave velocity*, *Poisson's Ratio*, *Shear-wave velocity*, dan *Density*. input data pada komponen-komponen di atas seperti pada Gambar harus disesuaikan dengan banyaknya *layer* (lapisan) yang dibutuhkan untuk interpretasi *ground profile* yaitu dengan memperhatikan karakteristik geologi serta kondisi di lapangan.
- Kemudian memilih menu *Runs* → *Add* → *Status* untuk mengetahui nilai *misfit*-nya tunggu sampai proses perhitungan *misfit*-nya berhenti dan hasilnya terlihat pada Gambar.



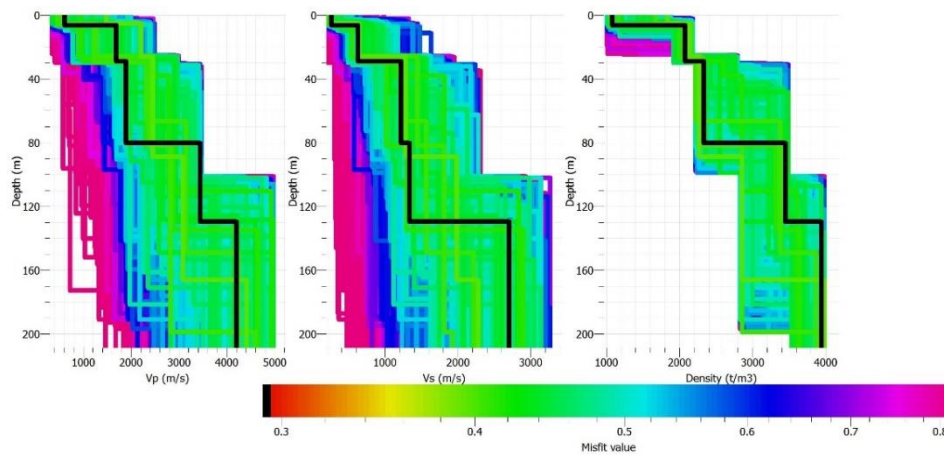
Gambar L16. Tampilan jendela *Status*

- Memilih menu *View* → *Ellipticity* untuk melihat hasil analisis kurva seperti pada Gambar.



Gambar L17. Tampilan *ellipticity*

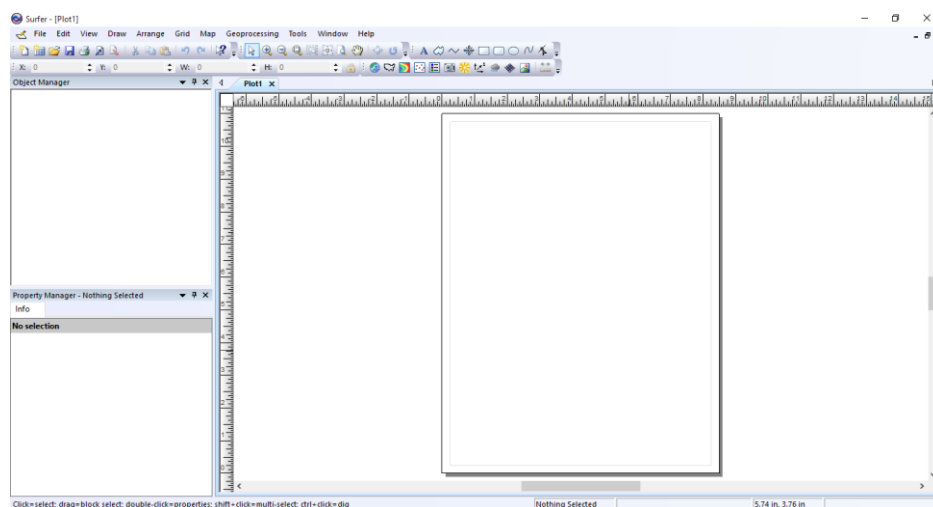
- Kemudian untuk melihat hasil pemodelan *ground profile* memilih menu *View* → *Ground Profile* (ditampilkan 3 profil yaitu  $V_p$ ,  $V_s$  dan *density*). Diperoleh informasi kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) dan ketebalan sedimen ( $h$ ).



Gambar L18. Tampilan *ground profiles*

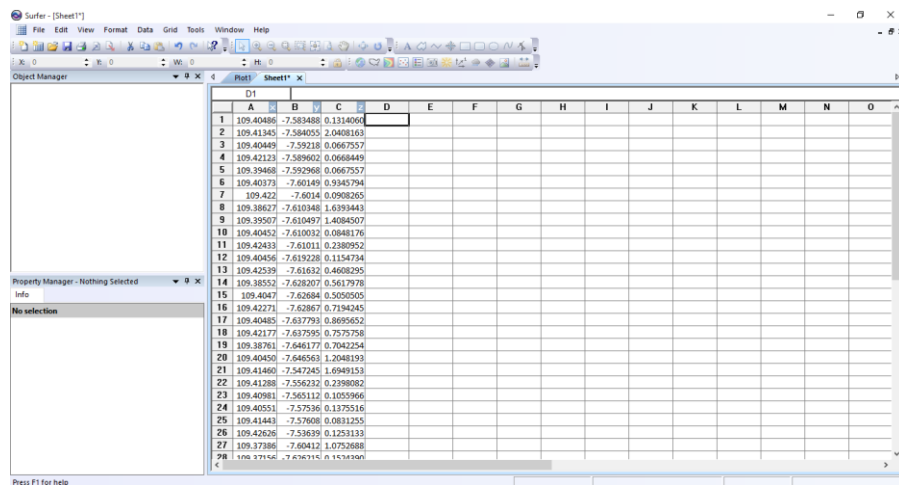
## F. Membuat Mikrozonasi Menggunakan Surfer 12

1. Membuka *Surfer* 12, sehingga akan muncul tampilan seperti Gambar.



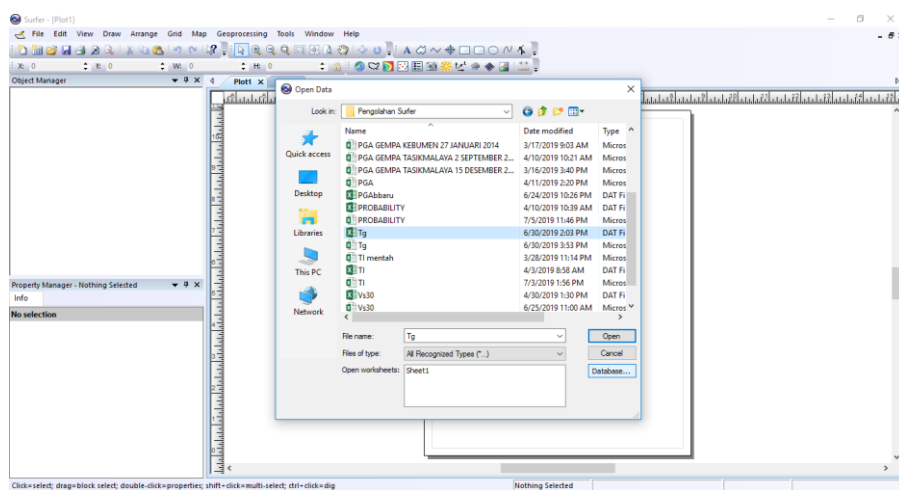
Gambar L19. Tampilan *software* Surfer 12

2. Klik *Worksheet*, kemudian masukkan titik koordinat pada kolom A untuk *longitude*, kolom B untuk *latitude* dan kolom C untuk nilai parameter yang akan dimikrozonasi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar. Simpan *file* dalam format *.dat*.



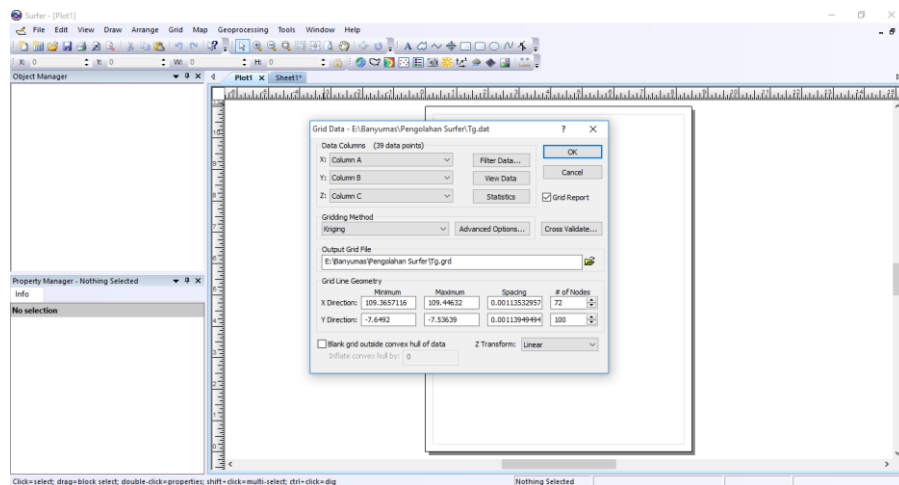
Gambar L20. Tampilan pengisian *Worksheet*

- Untuk memulai proses mikrozonasi, kembali ke jendela *Plot* → menu *Grid* → *Data* → pilih file format .dat yang akan dimikrozonasi kemudian klik *Open*.



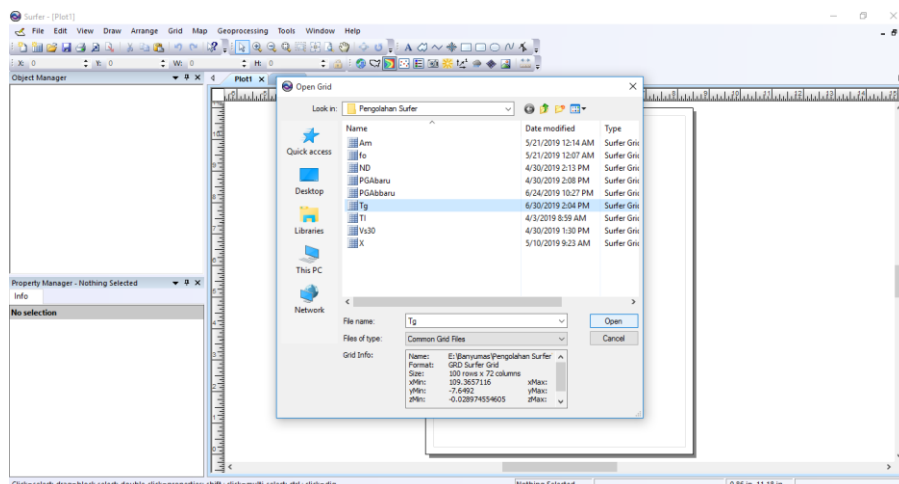
Gambar L21. Tampilan proses mikrozonasi dengan *Gridding*

- Memilih metode Kriging pada tampilan pengaturan *Gridding* kemudian klik OK



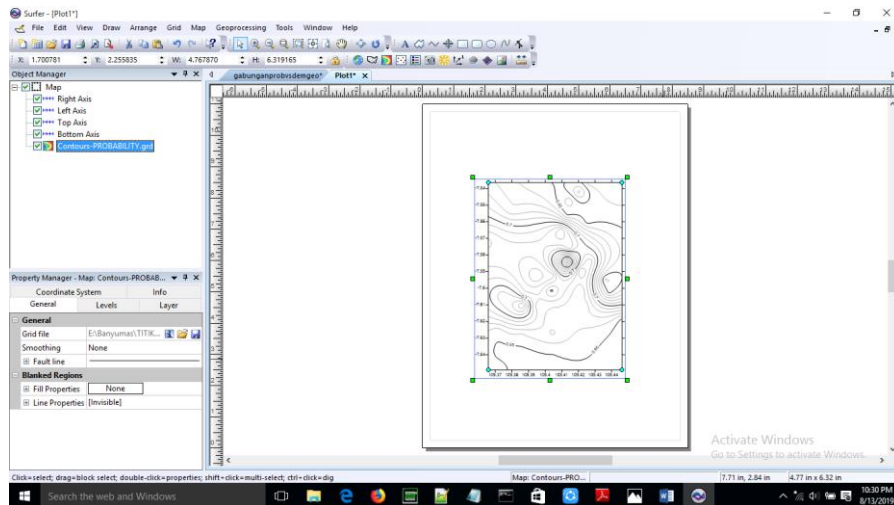
Gambar L22. Tampilan pengaturan *Gridding*

5. Hasil *Gridding* akan tersimpan dalam format .grd.



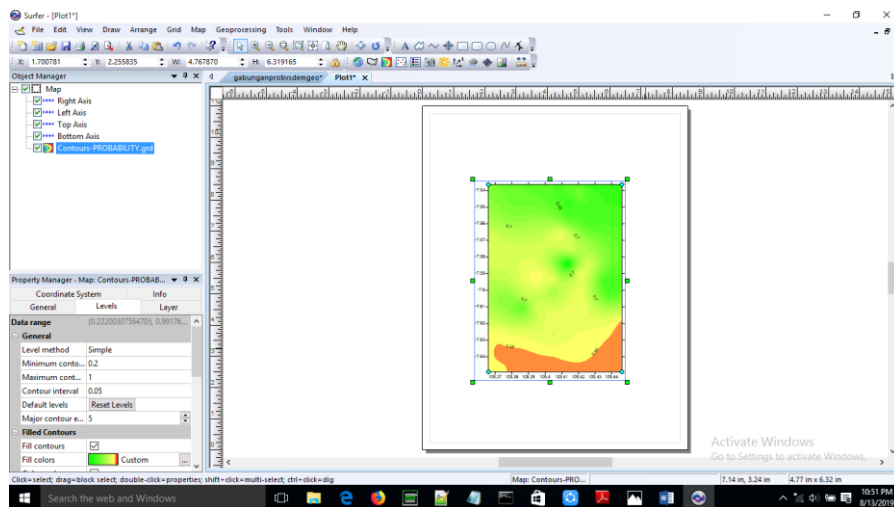
Gambar L23. Tampilan membuka hasil *Gridding*

6. Menampilkan hasil *Gridding* dengan cara memilih ikon *New Contour Map* → pilih *file* yang telah disimpan dengan format .grd → klik *Open*, maka akan muncul hasil *Gridding* dalam bentuk kontur seperti yang ditunjukkan pada Gambar.



Gambar L24. Tampilan hasil *Gridding* dalam bentuk kontur

# 7. Mengatur warna dan tampilan kontur pada pilihan *Level Property Manager*.



Gambar L25. Tampilan kontur setelah diatur tampilannya.

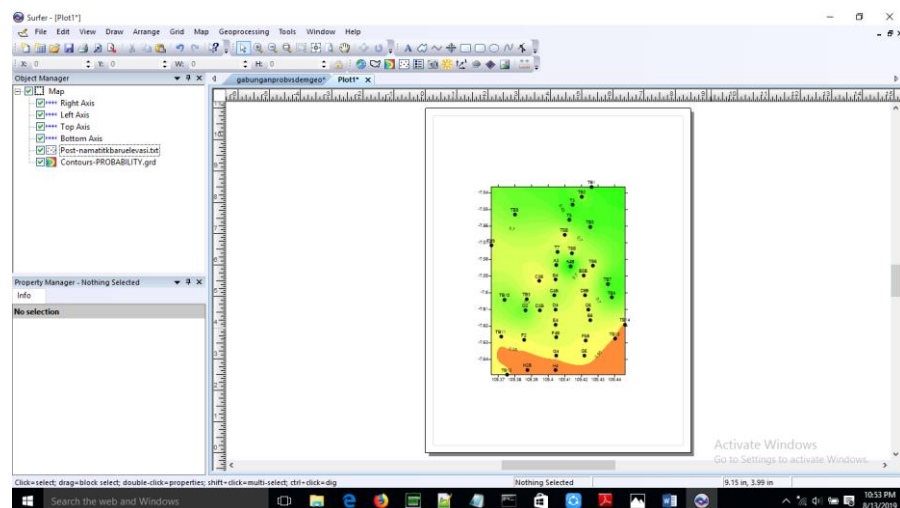
8. Untuk memunculkan titik pengukuran memilih ikon *New Post Map* buka *Worksheet* yang sudah disimpan dalam format .txt, dengan ketentuan kolom A adalah koordinat *longitude*, kolom B adalah *latitude*, kolom C adalah elevasi dan kolom D adalah nama titik



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	109.40486	-7.5834883	190A3												
2	109.41345	-7.584055	172A4B												
3	109.40449	-7.59218	107B4												
4	109.42123	-7.5896017	137B5B												
5	109.39468	-7.5929683	81C3D												
6	109.40373	-7.60149	57C4B												
7	109.422	-7.6014	43C6B												
8	109.38627	-7.6103483	33D2												
9	109.39507	-7.6104967	37D3B												
10	109.40452	-7.6100317	39D4												
11	109.42433	-7.61011	20D6												
12	109.40456	-7.6192283	13E4												
13	109.42539	-7.61632	14E6												
14	109.38552	-7.6020407	8F2												
15	109.4047	-7.62684	7F4B												
16	109.42271	-7.62867	12F8B												
17	109.40485	-7.637933	6G4												
18	109.42177	-7.637595	10G6												
19	109.38761	-7.6461767	13H2B												
20	109.40450	-7.6465633	8H4												
21	109.41460	-7.547245	467I3												
22	109.41288	-7.5562317	45I15												
23	109.40881	-7.5651117	362I8B												
24	109.40551	-7.57536	229I7												
25	109.41443	-7.57608	349I8B												
26	109.42626	-7.53639	567I8I												
27	109.42030	-7.5422017	477I82												
28	109.39690	-7.6016548	96I8I1												

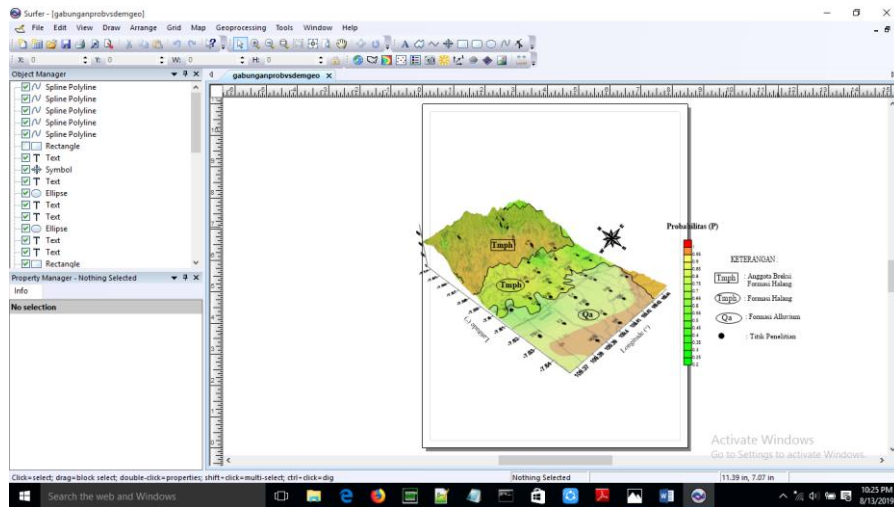
Gambar L26. Tampilan pengisian *Worksheet* koordinat.

9. Satukan titik koordinat dengan peta kontur dengan cara memilih menu *Map* kemudian pilih *Overlay*. Pengaturan symbol dan pemunculan nama titik koordinat dilakukan dengan cara *Property Manager* pilih *General* kemudian *Label*.



Gambar L27. Tampilan hasil penambahan titik koordinat

10. Untuk membuat mikrozonasi topografi daerah penelitian yaitu dengan cara memilih *New 3D Surface* pada *Toolbar* – pilih data DEM yang telah diunduh – meoverlay Kontur dengan memilih menu *Map* kemudian pilih *Overlay*



Gambar L28. Tampilan hasil penambahan DEM

11. Menyimpan hasil mikrozonasi dengan pilih menu *File – Export* – simpan dalam format .jpg.

## Lampiran 12. Dokumentasi Penelitian

